
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΞΕΥΓΕΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τίτλος εργασίας:

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΟΙΝΟΠΟΙΑΣ, ΠΕΡΙΟΧΗΣ
ΑΠΟΚΟΡΩΝΟΥ ΧΑΝΙΩΝ, ΜΕΣΩ ΚΑΥΣΗΣ ΣΕ
ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΛΙΝΗ

Μερκουλίδη Γεωργία

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

κα. Βάμβουκα-Καλουμένου Δέσποινα, Καθηγήτρια (Επιβλέπουσα)

κα. Πεντάρη Δέσποινα, Λέκτορας

κ. Γαλετάκης Μιχαήλ, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ

ΜΑΙΟΣ, 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΙΜΕΝΟΥ

1. Θεωρητικό μέρος	3
2. Η βιομάζα ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας	5
2.1 Φυσικοχημικές παράμετροι και χαρακτηριστικά βιομάζα	5
2.1.1 Πυκνότητα-Διαστάσεις σωματιδίων και ενεργειακή πυκνότητα.	5
2.1.2 Στοιχειακή ανάλυση	5
2.1.3 Προσεγγιστική ανάλυση	6
2.1.4 Θερμογόνος δύναμη	6
2.2 Υπολειμματικές μορφές βιομάζας	7
2.2.1 Η γεωργική βιομάζα της κρήτης	8
2.2.2 Αξιοποίηση υποπροϊόντων από οινοποιήσιμες ποικιλίες αμπέλου	11
3. Καύση βιομάζας	13
3.1 Συστήματα ρευστοποιημένης κλίνης	13
3.1.1 Εκπομπές NO _x και CO από την καύση βιομάζας σε ρευστοποιημένη κλίνη	16
3.1.2 Νομοθεσία για τις εκπομπές αέριων ρύπων από εγκαταστάσεις καύσης στερεής βιομάζας	16
Πειραματικό μέρος	
1. Πειραματική διάταξη	
1.1 Σύστημα τροφοδοσίας	18
1.2 Αντιδραστήρας	19
1.3 Σύστημα καταγραφής θερμοκρασίας	20
1.4 Σύστημα συλλογής ιπτάμενης τέφρας	20
1.5 Σύστημα δειγματοληψίας και ανάλυσης καυσαερίων	20
2. Τα καύσιμα	
2.1 Επιλογή και προέλευση καυσίμων	21
2.2 Προετοιμασία δειγμάτων	21
2.3 Ποιοτικός χαρακτηρισμός καυσίμων	22
2.4 Προσεγγιστική ανάλυση	22
2.5 Το αδρανές υλικό	23
3. Καθορισμός υδροδυναμικών χαρακτηριστικών ρευστοποίησης	
3.1 Θερμοκρασία λειτουργίας	23
3.2 Ποσότητα και κοκκομετρία αδρανούς	23
3.3 Είδος, ποσότητα και κοκκομετρία καυσίμου	23
4. Πειραματική διαδικασία	
4.1 Προετοιμασία δειγμάτων	24
4.2 Μεθοδολογία διεξαγωγής πειραμάτων	24
4. Αποτελέσματα και συζήτηση	
4.1 Χημικές αναλύσεις αρχικών δειγμάτων	26
4.2 Προφίλ θερμοκρασίας κατά μήκος του καυστήρα, εκπομπές ρύπων και απόδοση καύσης για σταθερή τροφοδοσία καυσίμου και περίσσεια αέρα	27
4.2.1 Αρχικά δείγματα	27
4.2.2 Μίγματα	30
4.3 Επίδραση της περίσσειας του αέρα στις χαρακτηριστικές παραμέτρους καύσης	32
4.3.1 Αρχικά δείγματα	32
4.3.2 Μίγματα	36

4.4 Επίδραση του ρυθμού τροφοδοσίας του καυσίμου στις χαρακτηριστικές παραμέτρους καύσης	42
4.4.1 Αρχικά δείγματα	42
4.4.2 Μίγματα	46
5. Συμπεράσματα	49
6. Βιβλιογραφία	51

7. Θεωρητικό μέρος	3
8. Η βιομάζα ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας	5
8.1 Φυσικοχημικές παράμετροι και χαρακτηριστικά βιομάζα	5
8.1.1 Πυκνότητα-Διαστάσεις σωματιδίων και ενεργειακή πυκνότητα.	5
8.1.2 Στοιχειακή ανάλυση	5
8.1.3 Προσεγγιστική ανάλυση	6
8.1.4 Θερμογόνος δύναμη	6
8.2 Υπολειμματικές μορφές βιομάζας	7
8.2.1 Η γεωργική βιομάζα της κρήτης	8
8.2.2 Αξιοποίηση υποπροϊόντων από οινοποιήσιμες ποικιλίες αμπέλου	11
9. Καύση βιομάζας	13
9.1 Συστήματα ρευστοποιημένης κλίνης	13
9.1.1 Εκπομπές NO _x και CO από την καύση βιομάζας σε ρευστοποιημένη κλίνη	16
9.1.2 Νομοθεσία για τις εκπομπές αέριων ρύπων από εγκαταστάσεις καύσης στερεής βιομάζας	16
Πειραματικό μέρος	
5. Πειραματική διάταξη	
5.1 Σύστημα τροφοδοσίας	18
5.2 Αντιδραστήρας	19
5.3 Σύστημα καταγραφής θερμοκρασίας	20
5.4 Σύστημα συλλογής ιπτάμενης τέφρας	20
5.5 Σύστημα δειγματοληψίας και ανάλυσης καυσαερίων	20
6. Τα καύσιμα	
6.1 Επιλογή και προέλευση καυσίμων	21
6.2 Προετοιμασία δειγμάτων	21
6.3 Ποιοτικός χαρακτηρισμός καυσίμων	22
6.4 Προσεγγιστική ανάλυση	22
6.5 Το αδρανές υλικό	23
7. Καθορισμός υδροδυναμικών χαρακτηριστικών ρευστοποίησης	
7.1 Θερμοκρασία λειτουργίας	23
7.2 Ποσότητα και κοκκομετρία αδρανούς	23
7.3 Είδος, ποσότητα και κοκκομετρία καυσίμου	23
8. Πειραματική διαδικασία	
8.1 Προετοιμασία δειγμάτων	24
8.2 Μεθοδολογία διεξαγωγής πειραμάτων	24
10. Αποτελέσματα και συζήτηση	
10.1 Χημικές αναλύσεις αρχικών δειγμάτων	26
10.2 Προφίλ θερμοκρασίας κατά μήκος του καυστήρα, εκπομπές ρύπων και απόδοση καύσης για σταθερή τροφοδοσία καυσίμου και περίσσεια αέρα	27
10.2.1 Αρχικά δείγματα	27
10.2.2 Μίγματα	30
10.3 Επίδραση της περίσσειας του αέρα στις χαρακτηριστικές παραμέτρους καύσης	32
10.3.1 Αρχικά δείγματα	32
10.3.2 Μίγματα	36
10.4 Επίδραση του ρυθμού τροφοδοσίας του καυσίμου στις χαρακτηριστικές παραμέτρους καύσης	

10.4.1 Αρχικά δείγματα	42
10.4.2 Μίγματα	46
11. Συμπεράσματα	49
12. Βιβλιογραφία	51

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 4.2.1: Προφίλ θερμοκρασίας κατά μήκος του καυστήρα για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ και λόγο περίσσειας $\lambda=1,4$

Διάγραμμα 4.2.2: Μέσος όρος εκπομπών CO και NO_x για τροφοδοσία καυσίμου $F=12\text{g/min}$ και λόγο περίσσειας $\lambda=1,4$

Διάγραμμα 4.2.3: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ και λόγο περίσσειας $\lambda=1,4$

Διάγραμμα 4.2.4: Μέσος όρος εκπομπών CO και NO_x για τροφοδοσία καυσίμου $F=12\text{g/min}$ και λόγο περίσσειας $\lambda=1,4$

Διάγραμμα 4.3.1: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας του αέρα

Διάγραμμα 4.3.2: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας του αέρα

Διάγραμμα 4.3.3: Μέσος όρος εκπομπών CO και NO_x για στέμφυλα με τροφοδοσία καυσίμου $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας του αέρα

Διάγραμμα 4.3.4: Μέσος όρος εκπομπών CO , NO_x και SO_2 για κληματίδες με τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας του αέρα

Διάγραμμα 4.3.5: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας του αέρα

Διάγραμμα 4.3.6: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας του αέρα

Διάγραμμα 4.3.7: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας του αέρα

Διάγραμμα 4.3.8: Μέσος όρος εκπομπών CO , NO_x και SO_2 για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας αέρα

Διάγραμμα 4.3.9: Μέσος όρος εκπομπών CO , NO_x και SO_2 για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας αέρα

Διάγραμμα 4.3.10: Μέσος όρος εκπομπών CO , NO_x και SO_2 για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας αέρα

Διάγραμμα 4.3.11: Μέσος όρος εκπομπών CO , NO_x και SO_2 για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας αέρα

Διάγραμμα 4.4.1: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα συναρτήσει του ρυθμού τροφοδοσίας του καυσίμου με $\lambda=1,4$

Πίνακας 2.1: Συμβατικές τιμές στοιχειακής ανάλυσης βιομάζας

Πίνακας 2.2: Η ανώτερη θερμογόνος δύναμη για μορφές βιομάζας και γαιάνθρακα

Πίνακας 2.2.1: Μέση θερμογόνος δύναμη των κυριότερων γεωργικών παραπροϊόντων

Πίνακας 2.2.2: Αξιοποιήσιμο δυναμικό γεωργικής βιομάζας καθώς και το αντίστοιχο ενεργειακό δυναμικό

Πίνακας 3.1: Οριακές τιμές εκπομπών CO και NO_x για τις νέες εγκαταστάσεις θέρμανσης που χρησιμοποιούν στερεά βιοκαύσιμα (Υ.Α οικ. 189533/2011-ΦΕΚ 2654/Β/9-11-2011)

Πίνακας 4.1.1: Προσεγγιστική ανάλυση (% επί ξηρού) δειγμάτων βιομάζας

Πίνακας 4.1.2: Στοιχειακή ανάλυση (% επί ξηρού) δειγμάτων βιομάζας

Πίνακας 4.1.3: Χημική ανάλυση τέφρας 560° C (επί ξηρού) δειγμάτων βιομάζας

Πίνακας 4.2.1: Προφίλ θερμοκρασίας, εκπομπές ρύπων, απώλειες θερμότητας και απόδοση από κληματίδες/στέμφυλα σε καυστήρα ρευστοποιημένης κλίνης (FBC) για τροφοδοσία F=12g/min συναρτήσει της περισσειας του αέρα λ=1,4

Πίνακας 4.2.2: Προφίλ θερμοκρασίας, εκπομπές ρύπων, απόδοση και απώλειες θερμότητας από στέμφυλα/κληματίδες σε καυστήρα ρευστοποιημένης κλίνης (FBC) για τροφοδοσία καυσίμου F=12g/min συναρτήσει της περισσειας του αέρα λ=1,4

Πίνακας 4.3.1: Προφίλ θερμοκρασίας, εκπομπές ρύπων, απόδοση και απώλειες θερμότητας από στέμφυλα/κληματίδες σε καυστήρα ρευστοποιημένης κλίνης (FBC) για τροφοδοσία καυσίμου F=12g/min συναρτήσει της περισσειας αέρα

Πίνακας 4.3.2: Προφίλ θερμοκρασίας, εκπομπές ρύπων, απόδοση και απώλειες θερμότητας από στέμφυλα/κληματίδες σε καυστήρα ρευστοποιημένης κλίνης (FBC) για τροφοδοσία καυσίμου F=12g/min συναρτήσει της περισσειας του αέρα

Πίνακας 4.4.1: Προφίλ θερμοκρασίας, εκπομπές ρύπων, απόδοση και απώλειες θερμότητας από στέμφυλα/κληματίδες σε καυστήρα ρευστοποιημένης κλίνης (FBC) για τροφοδοσία καυσίμου F=10g/min συναρτήσει της περισσειας του αέρα λ=1,4

Πίνακας 4.4.2: Προφίλ θερμοκρασίας, εκπομπές ρύπων, απόδοση και απώλειες θερμότητας από στέμφυλα/κληματίδες σε καυστήρα ρευστοποιημένης κλίνης (FBC) για τροφοδοσία καυσίμου F=10g/min και περίσσεια αέρα λ=1,4

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.2.1: % Ποσοστό συμμετοχής των νομών της Κρήτης στην παραγωγή της διαθέσιμης βιομάζας

Σχήμα 2.2.2: % Πόσοστό συμμετοχής των γεωργικών υπολειμμάτων στην παραγωγή της διαθέσιμης βιομάζας

Σχήμα 2.2.3: Μεταβολή της παραγόμενης βιομάζας στην Κρήτη

Σχήμα 2.2.4: Ποσοστιαία συμμετοχή των νομών της Κρήτης στο συνολικό ενεργειακό δυναμικό

Σχήμα 3.1: Εγκατάσταση ρευστοποιημένης κλίνης

Εικόνα 1.1: Εποπτική φωτογραφία της πειραματικής εγκατάστασης

Εικόνα 1.1.1: Σύστημα τροφοδοσίας

Εικόνα 1.5.1: Σύστημα συλλογής ιπτάμενης τέφρας

Εικόνα 1.5.2: Καταγραφικός αναλυτής madur

Εικόνα 2.2.1: Δονούμενο σύστημα κοσκίνων

Εικόνα 2.2.2: Μαχαιρόμυλος

Εικόνα 2.2.3: Αρχική κοκκομετρία στέμφυλων

Εικόνα 2.2.4: Τελική κοκκομετρία στέμφυλων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων κ. Δ. Βάμβουκα-Καλουμένου για την ανάθεση του θέματος της διπλωματικής εργασίας μου και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου πρόσφερε καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον εργαστηριακό συνεργάτη του Εργαστηρίου "Εξευγενισμού και Τεχνολογίας Στερεών Καυσίμων" του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων κ. Στέλιο Σφακιωτάκη που με βοήθησε σημαντικά.

Ευχαριστίες αποδίδω ακόμα στον κ. Σταμπολιάδη, κ. Πεντάρη και κ. Ρεπούσκου για τη διάθεση συσκευών και μηχανημάτων του εργαστηρίου τους, καθώς και το προσωπικό των παραπάνω εργαστηρίων για τη βοήθεια που μου προσέφεραν.

Σε αυτό το σημείο θέλω να αναφέρω ανθρώπους, εκτός του στενού ακαδημαϊκού περιβάλλοντος, που υπήρξαν σημαντικοί πόλοι στη ζωή μου, προσδίδοντας την απαιτούμενη ισορροπία. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τις φίλες και τους φίλους των φοιτητικών μου χρόνων, που έκαναν τα χρόνια αυτά, μία πραγματικά αξέχαστη εμπειρία. Βέβαια, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στους γονείς μου, των οποίων η πίστη στις δυνατότητες μου αποτέλεσε αρωγό σε όλους τους στόχους και τα όνειρά μου. Την παρούσα εργασία την αφιερώνω σε εκείνους που έφυγαν νωρίς από κοντά μας.

Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά περιλαμβάνεται σε αυτήν οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο βιομάζα εννοούμε τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων. Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης και για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη, βιοντήζελ κ.λπ.)

Η παρούσα διπλωματική εργασία σκοπό έχει τη μελέτη των υπολειμμάτων από καλλιέργειες αμπελώνων και την οينوποίηση ως πιθανά εναλλακτικά καύσιμα. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε μια προπilotική μονάδα ρευστοποιημένης κλίνης, στο εργαστήριο Εξευγενισμού και Τεχνολογίας Στερεών Καυσίμων του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Πριν την πραγματοποίηση των πειραμάτων καύσης πραγματοποιήθηκε χημικός χαρακτηρισμός των καυσίμων (στέμφυλα, κληματίδες, κλημ./στέμφ. 90/10, κλημ./στέμφ. 80/20, κλημ./στέμφ. 70/30) όπου προσδιορίστηκε το ποσοστό υγρασίας, καύσιμης ύλης και τέφρας, η θερμογόνο δύναμη, καθώς και τα ποσοστά C, H, N, O, S. Κατόπιν, προετοιμάστηκε το υλικό της κλίνης (Na-ούχος άστριος) και στη συνέχεια υπολογίστηκε η ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης και η απαιτούμενη ογκομετρική παροχή του αέρα για την καύση. Για κάθε είδος καυσίμου, επιλέχθηκαν δύο ανεξάρτητες μεταβλητές: η παροχή καυσίμου τροφοδοσίας και ο λόγος περίσσειας αέρα. Η παροχή καυσίμου ρυθμιζόταν σε 0,72 ή 0,84 kg/h, ενώ ο λόγος λ της περίσσειας αέρα κυμαινόταν μεταξύ των τιμών 1,3 και 1,5. Για τον υπολογισμό της απόδοσης της καύσης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της απώλειας θερμότητας (heat-loss method).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των υπολειμμάτων από καλλιέργειες ή οινοποίηση αμπελώνων ως πιθανά εναλλακτικά καύσιμα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από πειράματα καύσης υπολειμμάτων από καλλιέργειες και οινοποίηση αμπελώνων σε μια μονάδα ρευστοποιημένης κλίνης φυσαλίδων και μελετήθηκε η απόδοση της καύσης και οι εκπομπές αέριων ρύπων (CO , SO_2 και NO_x). Τα καύσιμα ήταν τα κλαδευτικά υπολείμματα του αμπελώνων (κληματίδες) και στερεά υπολείμματα επεξεργασίας σταφυλιών (στέμφυλα) για παραγωγή κρασιού.

Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας δείχνουν ότι τα υπολείμματα επεξεργασίας σταφυλιών (στέμφυλα) δεν είναι ικανά από μόνα τους να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς ως εναλλακτικά καύσιμα για την παραγωγή θερμότητας. Όμως, σε συνδυασμό με τα κλαδευτικά υπολείμματα του αμπελώνων (κληματίδες), παρουσιάζουν ενδιαφέρον καθώς τα καύσιμα αυτά εμφανίζουν υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά συστατικά και αρκετά υψηλή θερμαντική ικανότητα. Για μίγματα των δύο καυσίμων όπου το ποσοστό των στέμφυλων είναι μέχρι 30% και ο ρυθμός τροφοδοσίας μικρότερος από 0,72 kg/h, οι εκπομπές ρύπων διατηρούνται στα επιτρεπτά όρια.

Μεταβολές στο ποσοστό περίσσειας του αέρα ή στο ρυθμό τροφοδοσίας του καυσίμου προκάλεσαν αλλαγές στη θερμοκρασία της ρευστοποιημένης κλίνης, ενώ δεν επηρέασαν σημαντικά τις εκπομπές CO , NO_x . Οι εκπομπές SO_2 διατηρήθηκαν σε πολύ χαμηλά επίπεδα σε όλα τα πειράματα.

1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η Κοινωνία της Αφθονίας αρχίζει να διαγράφει μία προοπτική για την Κοινωνία της Δυστυχίας. Στο μέλλον ο άνθρωπος ίσως τρέφεται με τ' απορρίμματα του παρόντος, αν φυσικά εξαντληθεί το φυσικό κεφάλαιο της γης, οι οικονομολόγοι λένε ότι για να δώσουμε την ψευδαίσθηση της ευημερίας τρώμε το ψωμί του μέλλοντος. Οι διαρκώς αυξανόμενες καταναλωτικές τάσεις των ανθρώπων και ο ανταγωνισμός μεταξύ των κρατών οδηγούν σε μια βαθμιαία εξάντληση των φυσικών πόρων της γης. Παίρνουμε από αυτή πολύ περισσότερα απ' όσα έχουμε ανάγκη και απ' όσα μπορεί να μας δώσει. Έτσι, μπροστά μας διανοίγεται η ζοφερή προοπτική να εξαντλήσουμε πολύ γρήγορα το φυσικό κεφάλαιο της γης. Τα περισσότερα και τα βασικότερα για τη ζωή του ανθρώπου ορυκτά θα εξαφανιστούν πολύ σύντομα [1], αν συνεχιστεί με τον ίδιο ρυθμό η εκμετάλλευσή τους.

Εξίσου δυσμενείς είναι οι προοπτικές για τα ορυκτά καύσιμα. Η διαδικασία σχηματισμού των καυσίμων αυτών είναι εξαιρετικά αργή. Στην ουσία πρόκειται για πηγές που δεν ανανεώνονται. Οι επιστήμονες υπολογίζουν ότι το πετρέλαιο, αν συνεχιστεί με το σημερινό ρυθμό η άντληση του, θα εξαφανιστεί μέσα σε πενήντα χρόνια. Το τι σημαίνει αυτό μπορούμε να καταλάβουμε, αν μελετήσουμε τις συνέπειες και την αναστάτωση που προκλήθηκαν στη διεθνή οικονομία από την απότομη αύξηση της τιμής του μετά το 1973. Ούτε μπορούμε να στηριχτούμε αποκλειστικά στους γαιάνθρακες και στο φυσικό αέριο για την παραγωγή ενέργειας, γιατί και αυτά θα εξαντληθούν μέσα σε 250 χρόνια [2].

Η αλόγιστη κατανάλωση και η κακή διαχείριση ενέργειας, αλλά και των φυσικών πόρων που απαιτούνται για την παραγωγή ενέργειας, οδήγησαν την ανθρωπότητα σε τεράστια περιβαλλοντικά προβλήματα. Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη είναι το πιο σημαντικό. Το πρόβλημα αυτό προκαλείται από τις τεράστιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Σήμερα πάνω από το 90 % της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην χρήση συμβατικών καυσίμων όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και τον γαιάνθρακα από τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Προκειμένου λοιπόν να μειωθούν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, οι κυβερνήσεις των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης θέτουν ως στόχο στα πλαίσια μιας καλύτερης και αυστηρότερης περιβαλλοντικής πολιτικής, τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, καθώς επίσης και την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ). Το αποτέλεσμα είναι το αυστηρό νομικό πλαίσιο της απόφασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης που επιβάλλεται μέσο προστίμων απέναντι στις βιομηχανίες παραγωγής ενέργειας και τις οδηγεί σε αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων, που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα και κοστίζουν, με ανανεώσιμες πηγές που δεν επιβαρύνουν καθόλου το περιβάλλον.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν

- την ηλιακή ενέργεια
- την αιολική ενέργεια
- την κυματική ενέργεια
- τη βιομάζα
- τη γεωθερμική ενέργεια
- την υδροηλεκτρική ενέργεια

Η χρήση των ΑΠΕ παρουσιάζει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη σε σχέση με τη χρησιμοποίηση

των συμβατικών καυσίμων ή της πυρηνικής ενέργειας για την παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρισμού ή μηχανικής ενέργειας. Τα οφέλη που προκύπτουν από τη λειτουργία μονάδων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν αφορούν μόνο στο κοινωνικοοικονομικό γίνεσθαι σε επίπεδο χώρας, αλλά και σε επίπεδο τοπικής κοινωνίας. Οι ΑΠΕ ευνοούν την αποκέντρωση του συστήματος παραγωγής ισχύος και επιτρέπουν την εφαρμογή τοπικών λύσεων, οι οποίες είναι ανεξάρτητες από το εθνικό δίκτυο, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο την ευελιξία του συστήματος και την παροχή ενέργειας με ευνοϊκούς οικονομικούς όρους σε μικρές απομακρυσμένες εγκαταστάσεις. Επιπλέον, δεν μπορούν να εξαντληθούν, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα και το ουράνιο.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε είναι τα ακόλουθα:

- Είναι ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους άλλους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους (κυρίως ορυκτά καύσιμα), οι οποίοι με το πέρασμα του χρόνου εξαντλούνται.
- Έχουν αρκετά χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (πχ ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των Α.Π.Ε έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών σε μικρή κλίμακα εφαρμογών ή σε μεγάλη κλίμακα αντίστοιχα, έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.

Τα βασικότερα μειονεκτήματα των Α.Π.Ε είναι τα ακόλουθα:

- Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας, απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για μεγάλη παραγωγή απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος, ώστε να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί [3].

Η Ελλάδα αποτελεί ιδανικό τόπο για ευρεία χρήση των ΑΠΕ. Τα ιδιαίτερα φυσικά τοπιολογικά χαρακτηριστικά της, σε συνδυασμό με τα ποικιλόμορφα κλιματολογικά στοιχεία της, ικανοποιούν την αναγκαία συνθήκη για την ανάπτυξη κάθε εφαρμογής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η γεωγραφική της θέση εξασφαλίζει μια εκτεταμένη περίοδο ηλιοφάνειας, προσφέροντας την δυνατότητα μιας ουσιαστικής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Επίσης, η διάσπαρτη παρουσία μιας πλειάδας μικρών αλλά ορμητικών ποταμών, λόγω του έντονου τοπογραφικού της αναγλύφου, επιτρέπει την αξιοποίηση της διαθέσιμης υδραυλικής ενέργειας, ως συνέπεια της φυσικής ροής του ύδατος προς κατώτερα υψομετρικά επίπεδα. Τέλος, η συνύπαρξη ηπειρωτικού – νησιωτικού τοπίου προσφέρει φυσικές διόδους στην νομοτελειακή μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών, διαμορφώνοντας ένα ιδιαίτερα αξιόλογο αιολικό δυναμικό κυρίως στις παράκτιες περιοχές.

Βέβαια, πέρα των φυσικών χαρακτηριστικών, μια σειρά άλλων παραμέτρων καθορίζει την δυνατότητα εφαρμογής των ΑΠΕ, όπως για παράδειγμα το διαθέσιμο δίκτυο μεταφοράς και η περιορισμένη ζήτηση των νησιών (αυτόνομα δίκτυα), που θέτει όρια στην αξιοποίηση των ΑΠΕ [4].

2 Η ΒΙΟΜΑΖΑ ΩΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά περιλαμβάνεται σε αυτήν οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο βιομάζα εννοούμε τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων.

Η βιομάζα χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (θέρμανσης, ψύξης, ηλεκτρισμού κ.λπ.) και ακόμα για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη, βιοντήζελ κ.λπ.) [5].

Οι κυριότερες χρήσεις της βιομάζας είναι για:

- Θέρμανση θερμοκηπίων
- Θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς/κεντρικούς λέβητες
- Παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες
- Παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου
- Τηλεθέρμανση που είναι η θέρμανση χώρων, καθώς και η προμήθεια θερμού νερού χρήσης σε ένα σύνολο κτιρίων, έναν οικισμό, ένα χωριό ή μια πόλη, από ένα κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμότητας. Η θερμότητα μεταφέρεται σε προ-μονωμένο δίκτυο αγωγών από το σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια
- Παραγωγή ενέργειας σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) [6]

2.1 Φυσικοχημικές Παράμετροι και Χαρακτηριστικά Βιομάζας

2.1.1 Πυκνότητα- Διαστάσεις Σωματιδίων και Ενεργειακή Πυκνότητα

Ανάλογα με τη διεργασία προετοιμασίας τους, τα καύσιμα βιομάζας είναι διαθέσιμα είτε χύδην (π.χ. θρύμματα ξύλου, πριονίδι), είτε σε τεμάχια (π.χ. δεμάτια άχυρου, καυσόξυλα). Για το υλικό χύδην, οι διαστάσεις των σωματιδίων διαφέρουν από μεγέθη λίγων χιλιοστών μέχρι και, μεγέθη 50 εκατοστών. Επιπρόσθετα, η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων μπορεί να είναι ομοιόμορφη (π.χ. συσσωματώματα) ή μη ομοιόμορφη (π.χ. ανεπεξέργαστος φλοιός). Το μέγεθος του σωματιδίου και η κατανομή μεγεθών των σωματιδίων προσδιορίζουν το κατάλληλο σύστημα τροφοδοσίας του καυσίμου και την τεχνολογία καύσης. Η πυκνότητα του υλικού χύδην

κυμαίνεται μεταξύ 150-200 kg/m³ για το άχυρο και το σιτάρι, μέχρι και 600-900 kg/m³ για το ξηρό ξύλο. Η ενεργειακή πυκνότητα, σαν αποτέλεσμα της πυκνότητας του χύδην υλικού και της καθαρής θερμαντικής αξίας, επηρεάζει τη μεταφορά και την αποθήκευση του καυσίμου, καθώς και τον έλεγχο της διεργασίας του συστήματος τροφοδοσίας του κλιβάνου [7].

2.1.2 Στοιχειακή Ανάλυση

Στη στοιχειακή ανάλυση προσδιορίζεται η κατά βάρος σύσταση της βιομάζας σε άνθρακα (C), υδρογόνο (H), οξυγόνο (O), άζωτο (N) και θείο (S). Με βάση τη στοιχειακή ανάλυση, μπορεί να γίνει λεπτομερής και επακριβής περιγραφή της διεργασίας της θερμοχημικής μετατροπής.

Γενικά, στα καύσιμα βιομάζας εμφανίζονται οι εξής τυπικές τιμές στοιχειακής ανάλυσης (% κ.β. ξηρήσβάσης):

Πίνακας 2.1: Συμβατικές τιμές στοιχειακής ανάλυσης βιομάζας[8]

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ ΣΥΣΤΑΣΗ (ΧΩΡΙΣ ΤΕΦΡΑ, ΣΕ ΞΗΡΗ ΒΑΣΗ %)
ΑΝΘΡΑΚΑΣ (C)	44 - 51
ΥΔΡΟΓΟΝΟ (H)	5,5 - 6,7
ΟΞΥΓΟΝΟ (O)	41 - 50
ΑΖΩΤΟ (N)	0,12 - 0,60
ΘΕΙΟ (S)	0-0,2

Η υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο, οφειλόμενη στη λιγνοκυτταρινική δομή των φυτικών ιστών, είναι η αιτία, για τη χαμηλότερη θερμογόνο δύναμη της βιομάζας, σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Σημαντικό περιβαλλοντικό πλεονέκτημα των καυσίμων βιομάζας, σε σύγκριση με τους γαιάνθρακες, είναι ότι η βιομάζα περιέχει ελάχιστες ποσότητες θείου. Κατ' αυτόν τον τρόπο η χρήση βιομάζας οδηγεί σε μείωση των εκπομπών SO₂, οι οποίες ευθύνονται για την όξινη βροχή.

2.1.3 Προσεγγιστική Ανάλυση

Στην προσεγγιστική ανάλυση προσδιορίζεται η κατά βάρος σύσταση της βιομάζας σε πτητικά, τέφρα και μόνιμο άνθρακα. Ως μόνιμος άνθρακας χαρακτηρίζεται το ποσοστό του άνθρακα, που δεν αντιδρά, για την παραγωγή πτητικών προϊόντων (πτητικός άνθρακας), αλλά παραμένει και δημιουργεί το εξανθράκωμα.

Γενικά, η βιομάζα παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά (>70%), σε αντίθεση με τους γαιάνθρακες (<40%). Από την άλλη πλευρά, η περιεκτικότητα της βιομάζας σε τέφρα είναι χαμηλότερη από αυτήν στους γαιάνθρακες – εν γένει η βιομάζα έχει το ένα τρίτο της περιεκτικότητας του γαιάνθρακα σε τέφρα. Όμως, η τέφρα της βιομάζας περιέχει περισσότερο πυρίτιο και κάλιο και λιγότερο αργίλιο και σίδηρο από τον γαιάνθρακα [9].

2.1.4 Θερμογόνος δύναμη

Η θερμογόνος δύναμη εκφράζει την ενέργεια που απελευθερώνεται, κατά την καύση της μονάδας μάζας του καυσίμου. Αποτελεί τη βάση προσδιορισμού της απόδοσης του ενεργειακού συστήματος. Στους προσδιορισμούς των θερμοχημικών διεργασιών, είναι απαραίτητο να διαχωρίζεται η ανώτερη από την κατώτερη θερμογόνο δύναμη. Στην ανώτερη θερμογόνο δύναμη

συμπεριλαμβάνεται η λανθάνουσα θερμότητα του νερού, πράγμα που δεν ισχύει για την κατώτερη θερμογόνο δύναμη όπου έχει αφαιρεθεί η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του περιεχομένου νερού. Συνήθως, η λανθάνουσα θερμότητα του νερού δεν επανακτάται και επομένως είναι πιο σωστό να χρησιμοποιείται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη.

Πίνακας 2.2: Η ανώτερη θερμογόνος δύναμη για μορφές βιομάζας και γαιάνθρακα[7]

ΚΑΥΣΙΜΟ	ΑΘΔ (MJ/KG)
ΑΓΡΟΤΙΚΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ	14-19
ΒΙΤΟΥΜΕΝΙΟΥΧΟΣ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑΣ	28-30
ΛΙΓΝΙΤΗΣ	15-23
ΣΚΛΗΡΑ ΞΥΛΑ	19-21

Συγκρίνοντας τις τιμές της θερμογόνου δύναμης της βιομάζας και του γαιάνθρακα, συμπεραίνουμε ότι η ποσότητα ενέργειας στη βιομάζα τείνει να είναι καθαρά μικρότερη από εκείνη των ασφαλτούχων γαιανθράκων, είναι όμως παρόμοια ή μεγαλύτερη της θερμογόνου δύναμης των λιγνιτών.

2.2 Υπολειμματικές Μορφές Βιομάζας

Οι πηγές προέλευσης των υπολειμματικών μορφών βιομάζας είναι οι ακόλουθες:

- Από την υλοτομία και τη βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου

Τα ξυλώδη υπολείμματα που λαμβάνονται από την επεξεργασία του ξύλου (πριονίδι, ροκανίδι, θρύμματα ξύλου, κλπ.), καθώς και υπολείμματα ξυλείας που παράγονται κατά την υλοτόμηση των δέντρων και είναι ακατάλληλα για περαιτέρω επεξεργασία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διαφορετικούς τρόπους για την παραγωγή βιοενέργειας, είτε για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ή για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης. Έτσι, όταν αναφερόμαστε στο ξύλο ως ανανεώσιμο καύσιμο, δεν εννοούμε, φυσικά, την αλόγιστη υλοτόμηση των δασών, αλλά την ενεργειακή αξιοποίηση παραπροϊόντων ξύλου, τα οποία παραμένουν, συνήθως, ανεκμετάλλευτα.

- Από τις γεωργικές δραστηριότητες

Αντίστοιχα με τα παραπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου, τα υπολείμματα από τις γεωργικές δραστηριότητες, όπως π.χ. το άχυρο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά, για την παραγωγή φιλικής προς το περιβάλλον ενέργειας και καύσιμης ύλης. Εκτός από το άχυρο, τα κλαδέματα από τις δενδρώδεις καλλιέργειες, αντί να παραμένουν στους αγρούς και να αποτελούν εστίες ανάπτυξης πυρκαγιών, μπορούν να αξιοποιηθούν και να μετατραπούν σε υψηλής ποιότητας

στερεά βιοκαύσιμα, προσφέροντας, ταυτόχρονα, ένα επιπλέον έσοδο για τους παραγωγούς.

Η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών αποτελεί, επίσης, μια πρακτική παραγωγής βιομάζας. Είναι, δε, αρκετά διαδεδομένη τα τελευταία χρόνια ακόμα και στη χώρα μας όπου χρησιμοποιείται για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων. Οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας, εναλλακτικών αέριων βιοκαυσίμων (βιοαέριο), καθώς και στερεών βιοκαυσίμων.

- Από τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες

Το βασικό απόβλητο όλων των κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων είναι η ζωική κοπριά. Το ζήτημα της αποτελεσματικής διαχείρισης της γίνεται ακόμα πιο έντονο κατά την μαζική εκτροφή ζώων (συνήθως βοοειδών, χοίρων και πουλερικών) σε περιορισμένους και συστεγασμένους χώρους.

Ο ιδανικότερος τρόπος διαχείρισης αυτών των αποβλήτων είναι η χρησιμοποίησή τους για την παραγωγή βιοενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, με τη βοήθεια της τεχνολογίας της αναερόβιας χώνευσης τα υγρά ζωικά απόβλητα μετατρέπονται σε βιοαέριο, ένα εναλλακτικό και «πράσινο» βιοκαύσιμο. Μετά την παραγωγή του, το βιοαέριο τροφοδοτείται σε σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, από την πώληση των οποίων προκύπτουν τα πολύ σημαντικά έσοδα της μονάδας βιοαερίου. Επιπλέον, έσοδα μπορούν να προκύψουν από την εμπορική εκμετάλλευση του χωνεμένου υπολείμματος της κοπριάς, ως βιολογικό λίπασμα.

Η βιομάζα, συνεπώς, που λαμβάνεται από την εκτροφή ζώων ως απόβλητο, όχι μόνο δεν είναι άχρηστη, αλλά αποτελεί μια πολύ σημαντική πηγή εσόδων για τον παραγωγό καθώς και ένα τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με φιλικό για το περιβάλλον και τον άνθρωπο τρόπο. Συνιστά έναν ανεκμετάλλευτο πλούτο, τον οποίο έχουν αναγνωρίσει όλες οι αναπτυγμένες χώρες εδώ και χρόνια, γι αυτό και επενδύουν σε αυτόν διαρκώς.

- Από τα απόβλητα αγροτοβιομηχανικών μονάδων

Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, όπως και στην Ελλάδα, γεωργικά παραπροϊόντα και υπολείμματα γεωργικών βιομηχανιών και δραστηριοτήτων συνήθως απορρίπτονται σαν άχρηστα και πολλές φορές αποτελούν σοβαρά προβλήματα ρύπανσης του περιβάλλοντος. Θα μπορούσαν όμως πολλά από αυτά, μετά από κατάλληλη επεξεργασία να αποτελέσουν νέο οικονομικό πόρο, υπακούοντας ταυτόχρονα στους κανόνες περιβαλλοντικής προστασίας. Η αξιοποίηση αυτών των πρώτων υλών, αποβλήτων ή παραπροϊόντων, που συνήθως είναι χαμηλού ή και αρνητικού κόστους, μπορεί να μειώσει το κόστος παραγωγής ανά μονάδα και ταυτόχρονα να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας που θα προκύψουν από την αξιοποίηση αυτή.

Τα γεωργικά υποπροϊόντα, τα οποία μπορούν να παραχθούν σε συνεχή βάση από τις γεωργικές εκμεταλλεύσεις της Κρήτης και είναι ενεργειακά αξιοποιήσιμα, προέρχονται κατά κύριο λόγο από:

- τις ελαιοκαλλιέργειες και την επεξεργασία της ελιάς για την παραγωγή ελαιολάδου
- τις καλλιέργειες αμπελιών και είναι η ξυλεία, η οποία παράγεται από την κλάδευση αμπελιών (κληματίδες), αλλά και τα στέμφυλα, από το πάτημα των σταφυλιών και την αφαίρεση του μούστου [10]

2.2.1 Η Γεωργική Βιομάζα της Κρήτης

Μία μορφή ανανεώσιμης ενέργειας είναι η **αγρο-ενέργεια** που έχει άμεση σχέση με το **αγρο-περιβάλλον** (τους αγρούς, τα χωράφια, τις αγροτικές καλλιέργειες). Από τη φύση της η αγρο-ενέργεια υπάγεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και στον τομέα της ενεργειακής γεωργίας.

Η αγρο-ενέργεια δημιουργεί προϋποθέσεις ανάπτυξης δραστηριοτήτων σε :

α. ατομικό επίπεδο(αγρότης / καταναλωτής)

β. συλλογικό επίπεδο(ενώσεις αγροτών, ομάδες παραγωγών, ενώσεις καταναλωτών, άλλες συμπράξεις, κ.ά.)

γ. επίπεδο τοπικής διοίκησης

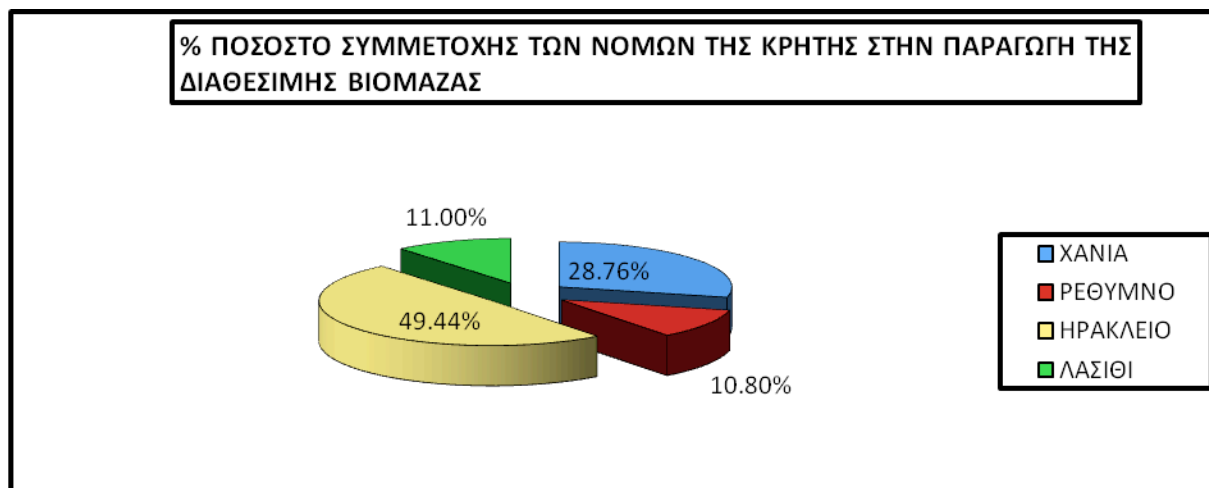
Η **αγρο-ενέργεια** είναι στενά συνδεδεμένη με την αξιοποίηση της **αγρο-βιομάζας**, δηλαδή της γεωργικής και δασικής ύλης, αλλά και των ενεργειακών καλλιεργειών.

Στο νησί της Κρήτης τις τελευταίες δύο δεκαετίες παρατηρείται μια σημαντική αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων, λόγω ανάπτυξης του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων, καθώς και της ακμάζουσας τουριστικής βιομηχανίας. Σήμερα, το κυριότερο μέρος των απαιτήσεων αυτών καλύπτεται από συμβατικές πηγές ενέργειας (εισαγωγές πετρελαίου και προϊόντων του).

Τα γεωργικά υποπροϊόντα, τα οποία μπορούν να παραχθούν σε συνεχή βάση από τις γεωργικές εκμεταλλεύσεις της Κρήτης και είναι ενεργειακά αξιοποιήσιμα, προέρχονται κατά κύριο λόγο από:

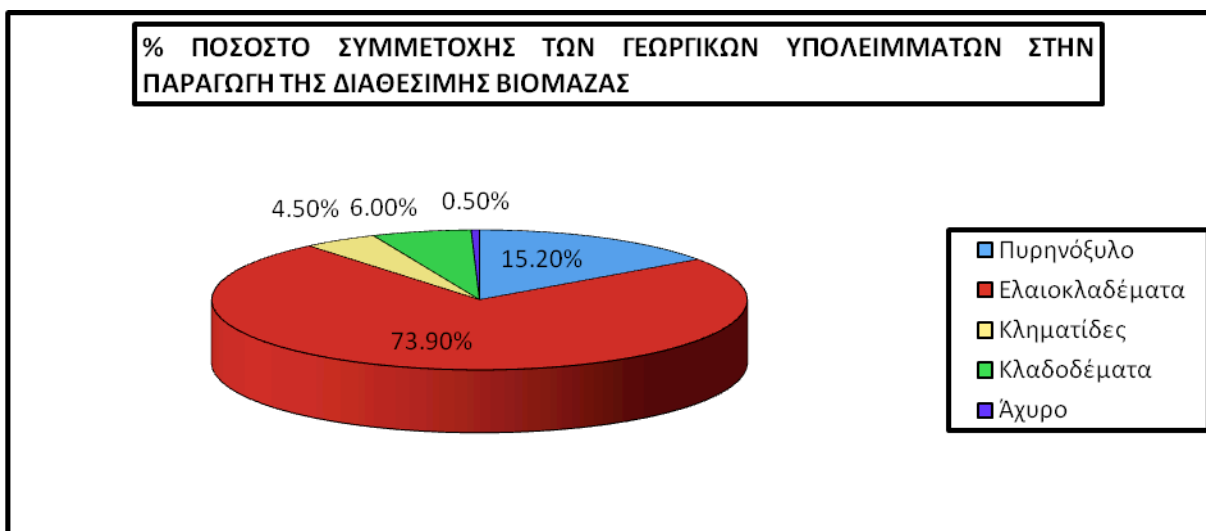
- ✓ τις ελαιοκαλλιέργειες και την επεξεργασία της ελιάς για την παραγωγή του ελαιολάδου
- ✓ τις καλλιέργειες αμπελιών και είναι η ξυλεία από την κλάδευση των αμπελιών (κληματίδες).
- ✓ τις καλλιέργειες εσπεριδοειδών (πορτοκάλια, μανταρίνια και λεμόνια) και είναι τα κλαδοδέματα, τα οποία προέρχονται από την κλάδευση των εσπεριδοειδών
- ✓ τα σιτηρά, η κυριότερη ετήσια καλλιέργεια στην Κρήτη. Το υπόλλειμα που μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά είναι το άχυρο [11].

Μεταξύ των νομών της Κρήτης ο νομός Ηρακλείου συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής στην παραγωγή της διαθέσιμης βιομάζας και ακολουθούν οι νομοί Χανίων, Λασιθίου και Ρεθύμνου.



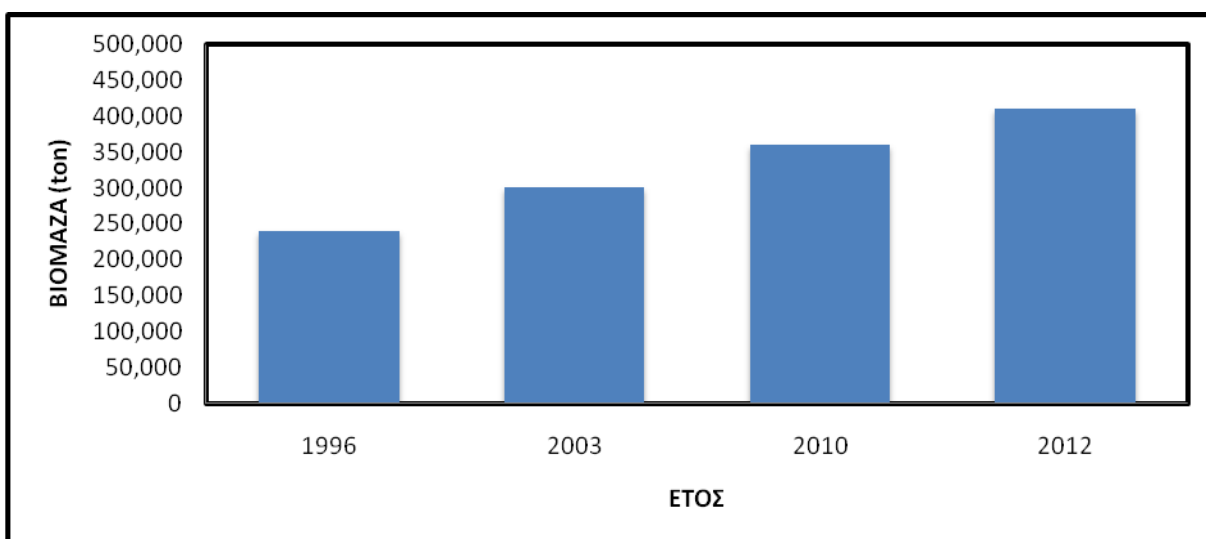
Σχήμα 2.2.1: % Ποσοστό συμμετοχής των νομών της Κρήτης στην παραγωγή της διαθέσιμης βιομάζας

Στο Σχήμα 2.2.2 παρουσιάζονται τα ποσοστά συμμετοχής των γεωργικών υπολειμμάτων στην παραγωγή της διαθέσιμης βιομάζας



Σχήμα 2.2.2: % Ποσοστό συμμετοχής των γεωργικών υπολειμμάτων στην παραγωγή της διαθέσιμης βιομάζας

Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο στην Κρήτη παρουσιάζεται στο Σχήμα που ακολουθεί (ΚΑΠΕ).



Σχήμα 2.2.3: Μεταβολή της παραγόμενης βιομάζας στη Κρήτη

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι:

- Η μέση ετήσια παραγωγή γεωργικής βιομάζας στην Κρήτη που είναι ενεργειακά διαθέσιμη κυμαίνεται από 240.000 ton μέχρι 410.000 ton. Η μεταβολή του συντελεστή διαθεσιμότητας κατά $\pm 20\%$ επιφέρει μεταβολή της παραγόμενης ποσότητας της βιομάζας κατά περίπου 60.000 τόννους.
- Ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής για κάθε παραπροϊόν είναι:
 - Κληματίδες -4,5%
 - Άχυρο -2,5%
 - Πυρηνόξυλο +3,2%
 - Ελαιοκλαδέματα +3,2%

Αυτό συνεπάγεται ότι ο σχεδιασμός της λειτουργίας μιας μονάδας παραγωγής ενέργειας από

βιομάζα δεν μπορεί να στηριχθεί στην παραγωγή κληματίδων, κλαδοδεμάτων και άχυρων. Το μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο εμφανίζει το πυρηνόξυλο.

Γενικά, η Κρήτη συμμετέχει δυναμικά στο συνολικό ενεργειακό δυναμικό, καθώς διαθέτει σημαντικά ποσά γεωργικής βιομάζας. Στον Πίνακα 2.2.1 παρουσιάζεται η μέση θερμογόνος δύναμη των κυριότερων γεωργικών υποπροϊόντων.

Πίνακας 2.2.1: Μέση Θερμογόνος Δύναμη των κυριότερων γεωργικών παραπροϊόντων

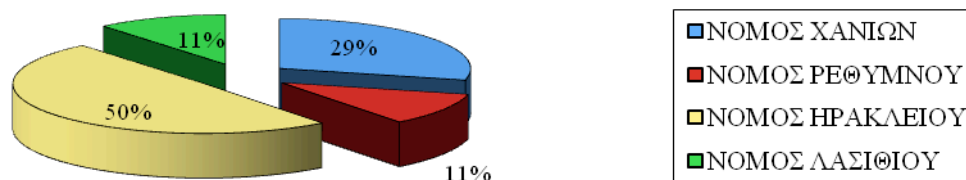
Υποπρόϊόν	Μέση Θερμογόνος Δύναμη (kcal/kg)
Πυρηνόξυλο	4437
Ξύλα Ελαιοδέντρων	3990
Κληματίδες	4280
Ξύλα Δέντρων Εσπεριδοειδών	4192

Πίνακας 2.2.2: Αξιοποιήσιμο δυναμικό γεωργικής βιομάζας καθώς και το αντίστοιχο ενεργειακό δυναμικό

Γεωργική βιομάζα (tns)	Συντελεστής διαθεσιμότητας	Αξιοποιήσιμο δυναμικό βιομάζας (tons)	Μέση θερμογόνος Δύναμη (Kcal/ton)	Ενεργειακό περιεχόμενο (10^9 Kcal)	% ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της Κρήτης
1.028.571	0,35	360.000	4.225.000	$1521 \cdot 10^9$	201,6

Γνωρίζοντας τη μέση θερμογόνο δύναμη των υποπροϊόντων (Πίνακας 2.2.1), η τιμή που λαμβάνεται στους υπολογισμούς είναι ο μέσος όρος όλων των τιμών της θερμογόνου δύναμης, υπολογίζεται το ενεργειακό περιεχόμενο των διαθέσιμων υπολειμμάτων (Σχήμα 2.2.3). Ακόμη, υπολογίζεται η % ποσοστιαία συμμετοχή των νομών της Κρήτης (Σχήμα 2.2.4) και το ποσοστό των ενεργειακών απαιτήσεων της που μπορεί θεωρητικά να καλυφθεί από αυτό δεδομένου ότι η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση στην Κρήτη είναι $75 \cdot 10^{10}$ Kcal και στην Ελλάδα είναι $28.150.600 \cdot 10^7$ Kcal (Πίνακας 2.2.2).

% ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΝΟΜΩΝ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ ΣΤΟ
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ



Σχήμα 2.2.4: Ποσοστιαία συμμετοχή των νομών της Κρήτης στο συνολικό ενεργειακό δυναμικό

2.2.2 Αξιοποίηση Υποπροϊόντων από Οινοποιήσιμες Ποικιλίες Αμπέλου

Τα γεωργικά υποπροϊόντα, τα οποία μπορούν να παραχθούν σε συνεχή βάση από τις γεωργικές εκμεταλλεύσεις της Κρήτης και είναι ενεργειακά αξιοποιήσιμα, μπορούν να παραχθούν από τις καλλιέργειες αμπελιών και είναι η ξυλεία, η οποία παράγεται από την κλάδευση των αμπελιών (κληματίδες). Οι κληματίδες είναι το κύριο ενεργειακό προϊόν της καλλιέργειας των αμπελιών. Αποτελούν σημαντική πηγή ενέργειας για τους κατοίκους της Κρήτης, καθώς χρησιμοποιούνται για την παραγωγή θερμότητας, είτε σε οικιακούς καυστήρες (τζάκια), είτε σε επαγγελματικούς καυστήρες (αρτοποιεία) [12].

Γνωρίζοντας τη σχέση σταφυλιού/κληματίδων=1.2/1, καθώς και τα στοιχεία παραγωγής επιτραπέζιων σταφυλιών και κρασοστάφυλων (οινοποιήσιμες ποικιλίες), κατά τον ΟΑΔΥΚ (Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης) του Νομού Χανίων, είναι δυνατόν να υπολογίσουμε τις ποσότητες των ενεργειακά αξιοποιήσιμων παραπροϊόντων που παράγονται, για τα Χανιά.

Στους υπολογισμούς αυτούς, εισάγεται η έννοια του συντελεστή διαθεσιμότητας (availability factor), η οποία εκφράζει το ποσοστό του δυναμικού της βιομάζας που είναι ενεργειακά αξιοποιήσιμο. Η τιμή του είναι συνάρτηση διαφόρων παραγόντων, όπως η ευκολία συλλογής της βιομάζας (αν υπάρχει μεγάλη διασπορά, συγκέντρωση σε δυσπρόσιτα μέρη) και οι εναλλακτικές χρήσεις της (π.χ ως τρόφιμο). Η τιμή που λαμβάνεται είναι 0,35 ($\pm 20\%$) και θα χρησιμοποιηθεί σε όλους τους υπολογισμούς. Η χρήση του επιβάλλεται επειδή σημαντικά ποσά αξιοποιούνται, ανεπίσημα αλλά και γιατί η χρήση τους διαφέρει από περιοχή σε περιοχή.

Σύμφωνα με στοιχεία του ΟΑΔΥΚ (Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης) του Νομού Χανίων, το σύνολο των εκτάσεων αμπέλου στα Χανιά κάθε χρόνο είναι περί τα 21000 στρέμματα, από τα οποία τα 17000 στρέμματα είναι προς οινοποίηση.

Όσον αφορά την ετήσια παραγωγή σταφυλιών, ανά στρέμμα παράγεται περίπου ένας τόνος. Πιο αναλυτικά, 1 στρέμμα αμπέλι παράγει περίπου 700 κιλά μούστο από τα οποία περίπου 28 κιλά είναι λάσπη (στέμφυλα), 70-80 κιλά κληματίδες, ενώ τα υπόλοιπα 500-600 κιλά είναι διάφορα υπολείμματα (πχ τσάμπουρα).

Οι οινοποιήσιμες εκτάσεις στο νομό Χανίων φτάνουν τα 17000 στρέμματα. Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, συμπεραίνουμε ότι ετησίως στα Χανιά παράγονται περίπου 12.000 τόνοι μούστος, από τους οποίους οι 480 τόνοι είναι στέμφυλα, οι 1275 τόνοι είναι κληματίδες και οι υπόλοιποι 10240 τόνοι, είναι διάφορα υπολείμματα.

3. ΚΑΥΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η βιομάζα διαφέρει από το γαιάνθρακα σε πολλούς τομείς, όπως στην περιεκτικότητα σε οργανική και ανόργανη ύλη και σε ενέργεια, καθώς και στις φυσικές ιδιότητες. Σε σύγκριση με το γαιάνθρακα, η βιομάζα περιέχει λιγότερο άνθρακα, περισσότερο οξυγόνο, περισσότερο πυρίτιο, κάλιο και χλώριο, λιγότερο αλουμίνιο και σίδηρο, έχει χαμηλότερη θερμογόνο δύναμη, περισσότερη υγρασία και πτητικά, καθώς και χαμηλότερη πυκνότητα και ευθρυπτότητα. Έτσι, εξαιτίας αυτών των συγκεκριμένων φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών, απαιτεί ειδικές τεχνικές καύσης.

Υπάρχουν διαθέσιμες βελτιωμένες διεργασίες καύσης για τη μετατροπή της βιομάζας σε θερμότητα. Έχουν αναπτυχθεί καταλυτικές εστίες για καύση ξύλου μικρής κλίμακας, οι οποίες λειτουργούν σε συνολικά υψηλότερα επίπεδα αποδοτικότητας, με χαμηλά επίπεδα εκπομπών. Επίσης, υπάρχουν διαθέσιμα σύγχρονα συστήματα λεβήτων για χρήση με ξύλο, οικιακά στερεά απορρίματα, καύσιμα από απορρίματα, και άλλα καύσιμα βιομάζας. Είναι αξιοσημείωτο ότι ανάμεσα σε όλες τις διεργασίες, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετατροπή της βιομάζας σε ενέργεια ή καύσιμα, η καύση εξακολουθεί να παραμένει η κυρίαρχη τεχνολογία. Περισσότερο από 95% όλης της ενέργειας από βιομάζα σήμερα, προέρχεται από την άμεση καύση της.

Τα συστήματα καύσης της βιομάζας χωρίζονται σε

Οικιακά και μικρά εμπορικά συστήματα

- ✓ Εστίες καύσης ξύλου
- ✓ Εστίες αποθήκευσης θερμότητας
- ✓ Λέβητες για ξύλινους κορμούς
- ✓ Καυστήρες και εστίες για συσσωματώματα ξύλου
- ✓ Συσκευές για καύση θρυμμάτων ξύλου

Βιομηχανικά συστήματα

- ✓ Συστήματα σταθερής κλίνης
- ✓ Συστήματα ρευστοποιημένης κλίνης
- ✓ Συστήματα καύσης σκόνης [7]

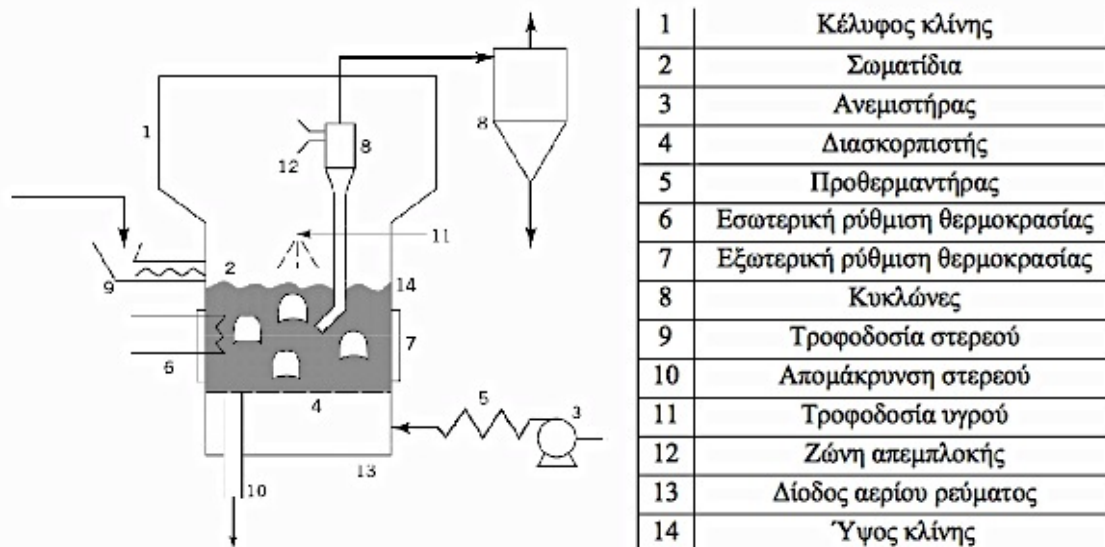
3.1 Συστήματα Ρευστοποιημένης Κλίνης

Ρευστοποίηση καλείται η αιώρηση των στερεών σωματιδίων μίας κλίνης, η οποία οφείλεται στη ροή αερίου ρεύματος. Η έντονη ανάδευση του στερεού υλικού και η καλή επαφή μεταξύ αερίου ρεύματος και σωματιδίων δημιουργούν ένα ισοθερμοκρασιακό σύστημα με ικανοποιητική μεταφορά μάζας. Η ρευστοποιημένη κλίνη σωματιδίων είναι ιδανική για εφαρμογές όπου απαιτείται πραγματοποίηση χημικών αντιδράσεων, ξήρανση προϊόντος, ανάδευση στερεών ή μεταφορά θερμότητας.

Λόγω της καλής ανάμιξης η οποία επιτυγχάνεται, οι μονάδες καύσης ρευστοποιημένης κλίνης μπορούν να αντιμετωπίσουν με ευελιξία τη χρησιμοποίηση διαφόρων μιγμάτων καυσίμων, αλλά έχουν περιορισμούς όσον αφορά στο μέγεθος των σωματιδίων του καυσίμου και στην παρουσία προσμίξεων σε αυτά. Κατά συνέπεια, για την ασφαλή λειτουργία της μονάδας, είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός κατάλληλου συστήματος επεξεργασίας του καυσίμου, το οποίο να εξασφαλίζει τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων και το διαχωρισμό των μετάλλων.

Τα συστήματα καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη χρειάζονται μεγαλύτερες περιόδους εκκίνησης (μέχρι και 15 ώρες), κατά τη διάρκεια των οποίων χρησιμοποιούνται καυστήρες πετρελαίου ή αερίου. Όσον αφορά στις εκπομπές, είναι δυνατόν να επιτευχθούν χαμηλά επίπεδα εκπομπών Νο_x λόγω σταδιακής παροχής αέρα, καλής ανάμιξης και χαμηλών απαιτήσεων για περίσσεια αέρα. Οι χαμηλές ποσότητες περίσσειας αέρα, οι οποίες είναι αναγκαίες, αυξάνουν την αποδοτικότητα της καύσης και μειώνουν τον όγκο ροής του απαερίου. Αυτό καθιστά τις μονάδες ρευστοποιημένης κλίνης ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας.

Το Σχήμα 3.1 παρουσιάζει μια ρευστοποιημένη κλίνη, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές. Το αέριο ρευστοποίησης εισάγεται στην κλίνη μέσω του διασκορπιστή, ο οποίος είναι μία βάση με οπές. Το επίπεδο όπου φθάνουν τα σωματίδια καλείται ύψος κλίνης, ενώ ο υπόλοιπος χώρος πάνω από αυτό καλείται ζώνη απεμπλοκής. Κυκλώνες, που είτε περιέχονται στην κλίνη σωματιδίων είτε βρίσκονται έξω από αυτήν, χρησιμεύουν ώστε να απομακρύνονται σωματίδια από το ρεύμα αερίου που εξέρχεται από την κλίνη. Τα σωματίδια αυτά είναι δυνατόν να επιστραφούν στην κλίνη.



Σχήμα 3.1: Εγκατάσταση ρευστοποιημένης κλίνης

Όταν πραγματοποιείται καύση μέσα σε μία ρευστοποιημένη κλίνη, ισχύει η ίδια βασική αρχή της ρευστοποίησης. Συνήθως, η θερμοκρασία και η πίεση της κλίνης κυμαίνονται μεταξύ 800-900⁰ C και 1-20 bar, αντίστοιχα. Η κλίνη σωματιδίων περιέχει μη-αναφλέξιμο, αδρανές υλικό. Το καύσιμο τροφοδοτείται στην κλίνη και σύντομα αρχίζει το φαινόμενο της καύσης. Για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της καύσης, τα σωματίδια που δεσμεύονται στους κυκλώνες επιστρέφουν στην κλίνη, προκειμένου να καούν όλα τα σωματίδια καυσίμου. Οι ρευστοποιημένες κλίνες είναι ιδανικές για την καύση καυσίμων που περιέχουν θείο, καθώς αυτό μπορεί να δεσμευθεί από κόκκους ασβεστόλιθου που προστίθενται στην κλίνη σωματιδίων [13].

Πλεονεκτήματα Καύσης σε Ρευστοποιημένη Κλίνη

1. Καλή μεταφορά θερμότητας, θερμική ομοιογένεια, χαμηλή θερμοκρασία καύσης:

Λόγω της έντονης ανάμειξης ρευστού και σωματιδίων, επιτυγχάνεται πολύ μεγάλη επιφάνεια επαφής μεταξύ των, κάτι που ευνοεί τη μεταφορά θερμότητας. Ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας έχει προσδιοριστεί πειραματικά σε διάφορες εγκαταστάσεις και βρίσκεται μεταξύ 300-400 W/m²K και εξαρτάται από το μέγεθος και το είδος (υλικό) των σωματιδίων, καθώς και τη συγκέντρωσή τους (φόρτιση). Επιπλέον, λόγω της πολύ μεγάλης θερμοχωρητικότητας που έχουν τα σωματίδια, η θερμοκρασία στο εσωτερικό της κλίνης παραμένει σχεδόν σταθερή σε όλα τα σημεία. Επιτυγχάνεται συνεπώς θερμική ομοιομορφία, η οποία δίνει τη δυνατότητα να πραγματοποιηθεί η καύση σε θερμοκρασίες πολύ μικρότερες από ένα συμβατικό λέβητα κονιορτοποιημένου καυσίμου (περίπου στους 800-900⁰C).

2. Υψηλή απόδοση καύσης (σχεδόν ολοκληρωτική καύση του καυσίμου): Λόγω της ανακυκλοφορίας των σωματιδίων, είτε στο εσωτερικό της κλίνης από τα τοιχώματα (core – annulus flow pattern), είτε από την επαναφορά τους με το σύστημα ανακυκλοφορίας (κυκλώνας – πνευματική βαλβίδα), τα σωματίδια του καυσίμου έχουν πολύ μεγάλο χρόνο παραμονής μέσα στην κλίνη, κάτι που ευνοεί την ολοκληρωτική καύση αυτού, και συνεπώς την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση του εκάστοτε διατιθέμενου καυσίμου. Ο βαθμός απόδοσης της καύσης σε κλίνη ανακυκλοφορίας είναι της τάξης του 97.5- 99.5%. Πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό, επίσης, είναι ότι ο βαθμός απόδοσης παραμένει κοντά στον βέλτιστο, ακόμα κι όταν ο λέβητας εργάζεται στο 50% του φορτίου.

3. Μικρότερες εκπομπές NO_x : Λόγω της θερμικής ομοιογένειας της κλίνης, και του πολύ καλού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, όπως αναφέρθηκε, δίνεται η δυνατότητα να γίνεται η

καύση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (μικρότερη από 1200°C που είναι συνήθης στους συμβατικούς λέβητες), περίπου σε 800-900°C. Έτσι, η χαμηλή θερμοκρασία καύσης, δεν ευνοεί το σχηματισμό οξειδίων του αζώτου από το άζωτο του αέρα (θερμικά NO_x). Στη συνήθη θερμοκρασία λειτουργίας των κλινών (800-900°C) τα NO_x σχηματίζονται κυρίως από το άζωτο του καυσίμου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x) στο περιβάλλον.

4. Δυνατότητα καύσης βιομάζας από ενεργειακές καλλιέργειες, καθώς επιτεύχθηκε αποδοτικότητα πάνω από 99% στα διάφορα πειράματα.

5. Η υψηλή περιεκτικότητα σε νάτριο των γαιανθράκων χαμηλής τάξης, τείνει να μειώσει την υψηλή αντιδραστικότητα της ιπτάμενης τέφρας, η οποία υποβοηθά τη συλλογή της και καθιστά δυνατή την χρήση της σαν απορροφητικό υλικό για το δειοξειδίο του θείου, που εκλύεται κατά την διάρκεια της καύσης αυτών των γαιανθράκων.

6. Λόγω της καλής ανάμιξης η οποία επιτυγχάνεται, οι μονάδες καύσης ρευστοποιημένης κλίνης μπορούν να αντιμετωπίσουν με ευελιξία τη χρησιμοποίηση διαφόρων μιγμάτων καυσίμων.[14]

Μειονεκτήματα Καύσης σε Ρευστοποιημένη Κλίνη

Παρόλα τα πλεονεκτήματα που αναμφισβήτητα υπάρχουν, εμφανίζονται ορισμένα προβλήματα κατά τη λειτουργία της ρευστοποιημένης κλίνης.

1. Για να επιτευχθεί η ρευστοποίηση των στερεών, είναι αναγκαίο το ρευστό να εισέρχεται με σχετικά υψηλή πίεση.
2. Έχει παρατηρηθεί διάβρωση των επιφανειών συναλλαγής θερμότητας και των εσωτερικών τοιχωμάτων, λόγω των μηχανικών κρούσεων των σωματιδίων στα τοιχώματα (erosion), αλλά και διάβρωση λόγω των επικαθίσεων ορισμένων ενώσεων (κυρίως ενώσεων του χλωρίου Cl) στα τοιχώματα, τα οποία διαβρώνουν το υλικό (corrosion). Το αποτέλεσμα είναι η μείωση του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, κάτι που επηρεάζει το βαθμό απόδοσης όλης της εγκατάστασης.
3. Έντονα λειτουργικά προβλήματα, κυρίως όσον αφορά τις επικαθίσεις και τις διαβρώσεις στις επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας. Κατά τη διάρκεια της καύσης τα ανόργανα συστατικά του γαιάνθρακα υφίστανται σύνθετες φυσικές και χημικές μεταβολές για την παραγωγή ενδιάμεσων προϊόντων τέφρας. Το μέγεθος και η σύνθεση όλων αυτών των ενδιάμεσων προϊόντων επηρεάζει άμεσα τα προβλήματα επισκωρίωσης και επικαθίσεων στα συστήματα καύσης.
4. Η υψηλή περιεκτικότητα σε νάτριο των γαιανθράκων χαμηλής τάξης, τείνει να σχηματίσει συσσωρεύσεις του υλικού της κλίνης σε συστήματα ατμοσφαιρικών ρευστοποιημένων κλινών.

Τέλος, οι βέλτιστες αναλογίες ανάμιξης για τη συχνά χρησιμοποιούμενη βιομάζα θρυμμάτων ξύλου από υλοτομία δασών, καθώς και για μίγματα θρυμμάτων ξύλου και άλλων καυσίμων, οι ιδιότητες καύσης και συν-καύσης, ζητήματα εκπομπών και επικαθίσεων, αποτελούν όλα θέματα προς μελέτη.

Μετά την ανάπτυξη των πλεονεκτημάτων, γίνεται κατανοητό ότι η τεχνολογία της ρευστοποιημένης κλίνης παρουσιάζεται σαν μια ελκυστική περιβαλλοντικά λύση, η οποία έχει χαμηλές εκπομπές σε οξείδια του αζώτου και του θείου, και μάλιστα χωρίς τη χρήση δευτερογενών μέτρων, που είναι ιδιαίτερα ακριβά.[14]

3.1.1 Εκπομπές NO_x και CO από την Καύση Βιομάζας σε Ρευστοποιημένη Κλίνη

Μια από τις βασικές εφαρμογές της ρευστοποιημένης κλίνης είναι αυτή της καύσης FBC (fluidized bed combustion). Σε αυτή την περίπτωση, η ρευστοποιημένη κλίνη χρησιμοποιείται σαν εστία μέσα στην οποία καίγεται το καύσιμο, παρουσία φυσικά του αδρανούς υλικού ρευστοποίησης.

- Κατά τη διάρκεια της καύσης τα σχηματιζόμενα NO_x (95% NO , 5% NO_2) δημιουργούνται μέσω τριών διαφορετικών διεργασιών και αντίστοιχα ονομάζονται ως "θερμικά", "άμεσα" και "καυσίμου" NO_x .
- Τα "θερμικά" NO_x σχηματίζονται όταν το άζωτο αντιδρά με το οξυγόνο στην αέρια φάση σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 1300 °C. Ο σχηματισμός των θερμικών NO_x είναι ανάλογος με τη θερμοκρασία.
- Τα "άμεσα" NO_x σχηματίζονται σε φλόγες πλούσιες σε υδρογονάνθρακες από διάσπαση ελευθέρων ριζών που περιέχουν άζωτο στο μόριό τους και πρακτικά δεν εξαρτώνται από τη θερμοκρασία καύσης.
- Παράλληλα, τα NO_x του "καυσίμου" σχηματίζονται μέσω φυσικοχημικών μετασχηματισμών του καυσίμου κατά τη διάρκεια της καύσης. Η παραγωγή τους είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας, σε κανονικές συνθήκες καύσης.

Το περισσότερο σημαντικό τελικό ενδιάμεσο προϊόν της καύσης βιομάζας σε FBC είναι το CO. Ο ρύπος αυτός προέρχεται κύρια από ατελή καύση, η οποία είναι το αποτέλεσμα χαμηλής θερμοκρασίας καύσης, μη αρκετής ανάμειξης του καυσίμου με αέρα καύσης και πολύ βραχέων χρόνων παραμονής των καυσίμων αερίων στη ζώνη καύσης. Οι μεγάλης κλίμακας εφαρμογές καύσης βιομάζας προσφέρουν συνήθως καλύτερες ευκαιρίες για τη βελτιστοποίηση της διεργασίας της καύσης, από ότι οι μικρής κλίμακας εφαρμογές καύσης βιομάζας. Έτσι, τα επίπεδα εκπομπών CO, είναι συνήθως χαμηλότερα σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές καύσης βιομάζας [14].

3.1.2 Νομοθεσία για τις Εκπομπές Αέριων Ρύπων από Εγκαταστάσεις Καύσης Στερεής Βιομάζας

Η υπάρχουσα νομοθεσία, Ευρωπαϊκή και Ελληνική, όσον αφορά τις εκπομπές των αέριων ρύπων, βασίζεται σε γενικές αρχές μιας κοινής στρατηγικής για την εκτίμηση και την διαχείριση της ποιότητας του αέρα και έχει σκοπό:

- τον προσδιορισμό και καθορισμό των στόχων για την ποιότητα του αέρα του περιβάλλοντος, ώστε να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο σύνολο του περιβάλλοντος.
- την, βάσει κοινών μεθόδων και κριτηρίων, εκτίμηση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος.
- τη συγκέντρωση κατάλληλων πληροφοριών για την ποιότητα του αέρα του περιβάλλοντος και την ενημέρωση του κοινού, κυρίως μέσω της ενημέρωσης για τα όρια συναγερμού.
- τη διατήρηση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος, όταν αυτή είναι καλή και τη βελτίωση της στις άλλες περιπτώσεις [15].

Στη χώρα μας, στις 7 Νοεμβρίου 2011 ο υπουργός Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) υπέγραψε τη σχετική απόφαση. Η υπουργική απόφαση «ρύθμιση θεμάτων σχετικών με τη λειτουργία των σταθερών εστιών καύσης για τη θέρμανση κτιρίων και νερού» αντικαθιστά την αντίστοιχη υπουργική απόφαση που ίσχυε από το 1993 (10315/22.03.1993 – ΦΕΚ Β'369) και άρει την απαγόρευση χρήσης βιομάζας για θέρμανση στο Λεκανοπέδιο Αττικής και στο Νομό Θεσσαλονίκης. Ταυτόχρονα, με την απόφαση αυτή καθορίζονται και τα όρια ρύπων για τα αέρια και στερεά καύσιμα. Επίσης, γίνεται σαφής αναφορά για την υποχρέωση ύπαρξης του φύλλου συντήρησης σε όλες τις εγκαταστάσεις θέρμανσης.

Πίνακας 3.1: Οριακές τιμές εκπομπών ρύπων CO και NO_x για τις νέες εγκαταστάσεις θέρμανσης που χρησιμοποιούν στερεά βιοκαύσιμα (ΥΑ οικ. 189533/2011 - ΦΕΚ 2654/Β/9-11-2011)

Μέθοδος τροφοδοσίας	Ονομαστική Ισχύς	Οριακές τιμές εκπομπών ρύπων		
		(εκφρασμένες σε mg/m ³ και ανηγμένες σε 10% O ₂)		
		[τιμές εκφρασμένες σε ppm και ανηγμένες σε 10% O ₂]		
	(kW)	CO	NO _x (εκφρασμένα ως NO ₂)	
Χειροκίνητη	< 50	5000 [4000]	340 [166]	ΥΑ οικ. 189533 07.11.2011 (ΦΕΚ 2654 Β/9-11- 2011)
	50 – 150	2500 [2000]		
	150 - 300	1200 [960]		
Αυτόματη	< 50	3000 [2400]		
	50 – 150	2500 [2000]		
	150 - 300	1200 [960]		

Σύμφωνα με την ίδια ΥΑ, για τις εγκαταστάσεις θέρμανσης τα μόνα επιτρεπόμενα καύσιμα είναι το πετρέλαιο θέρμανσης σύμφωνα με τις ισχύουσες κάθε φορά προδιαγραφές, τα αέρια καύσιμα των εκάστοτε νόμιμων τύπων προδιαγραφών, καθώς και τα τυποποιημένα στερεά βιοκαύσιμα όπως ορίζονται στο Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 14961-1.

Τέλος, σύμφωνα με την ίδια διάταξη, για τις νέες εγκαταστάσεις θέρμανσης που κάνουν χρήση στερεώνβιοκαυσίμων, ο εγκαταστάτης υποχρεούται να χορηγεί στον υπεύθυνο της εγκατάστασης επίσημες και επικυρωμένες από τον κατασκευαστή του λέβητα οδηγίες χρήσης και συντήρησης του συστήματος, όπου θα περιγράφονται αναλυτικά τα ενδεδειγμένα για το λέβητα στερεά βιοκαύσιμα, οι συνθήκες αποθήκευσής τους, τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία πρέπει να εκτελείται καθαρισμός της καμινάδας, καθώς και κάθε άλλη απαραίτητη λεπτομέρεια, ώστε να επιτυγχάνονται κατά την λειτουργία τους οι οριακές τιμές εκπομπών του Πίνακα 3.1 [16].

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε μια εργαστηριακής κλίμακας συσκευή ρευστοποιημένης κλίνης, στο εργαστήριο Εξευγενισμού και Τεχνολογίας Στερεών Καυσίμων του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από πέντε μέρη, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.

- Το σύστημα τροφοδοσίας
- τον αντιδραστήρα
- το σύστημα συλλογής της ιπτάμενης τέφρας
- το σύστημα καταγραφής διαφόρων αερίων εξόδου
- το σύστημα καταγραφής θερμοκρασίας



Εικόνα 1.1: Εποπτική φωτογραφία της πειραματικής εγκατάστασης

1.1 Σύστημα Τροφοδοσίας

Το σύστημα τροφοδοσίας των στερεών καυσίμων αποτελείται από δύο σιλό, τα οποία διαθέτουν κοχλίες που περιστρέφονται με ηλεκτρικό κινητήρα και μειωτήρα έκαστο. Το πρώτο σιλό χρησιμεύει για την αποθήκευση του καυσίμου. Στην άκρη του σιλό αυτού βρίσκεται ο πρώτος ατέρμονας κοχλίας, ο οποίος καλείται δοσιμετρικός. Ο δοσιμετρικός κοχλίας τροφοδοτεί το δεύτερο σιλό με μικρά «πακέτα» καυσίμου μέσω κατακόρυφα τοποθετημένου σωλήνα διαμέτρου 2'. Το πρώτο σιλό είναι δοσιμετρικό, ενώ το δεύτερο προωθεί το καύσιμο μίγμα προς τον αντιδραστήρα. Στη βάση του δεύτερου σιλό διέρχεται ο τροφοδοτικός κοχλίας που τροφοδοτεί το καύσιμο στο εσωτερικό της κλίνης, σε σημείο που βρίσκεται περίπου 2mm πάνω από τον διασκορπιστή του αέρα ρευστοποίησης. Ο τροφοδοτικός κοχλίας περιστρέφεται πιο γρήγορα από τον δοσιμετρικό, οπότε αποφεύγεται η συγκέντρωση καυσίμου στο δεύτερο σιλό και

εξομαλύνεται η παροχή καυσίμου στην κλίνη. Η παροχή του καυσίμου καθορίζεται από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα που δίνει κίνηση στον τροφοδοτικό κοχλία. Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα ρυθμίζεται μέσω κατάλληλου αντιστροφέα συχνότητας (inverter). Στο δεύτερο σιλό διοχετεύεται μια μικρή ροή αζώτου προκειμένου να αποφευχθεί αναστροφή της ροής των καυσαερίων.

Ένα υδρόψυκτο στεφάνι τοποθετήθηκε γύρω από το σωλήνα που καλύπτει τον κοχλία τροφοδοσίας, για να αποτρέψει την καύση των καυσίμων στο εσωτερικό του σωλήνα, πριν από την είσοδο τους στον καυστήρα. Σαν κοχλίες τροφοδοσίας χρησιμοποιήθηκαν ανοξείδωτα τρυπάνια για τσιμέντο.



Εικόνα 1.1.1: Σύστημα τροφοδοσίας

Ο αέρας, εισέρχεται στον αντιδραστήρα περνώντας μέσα από τις οπές του διασκορπιστή, οι οποίες εξασφαλίζουν ομοιόμορφη ροή. Για τη ρύθμιση της παροχής του αέρα χρησιμοποιούνται ροόμετρα.

1.2 Αντιδραστήρας

Ο πυρήνας του αντιδραστήρα αποτελείται από ένα κυλινδρικό σωλήνα από ανοξείδωτο χάλυβα (SS310), διαμέτρου 7cm και ύψους 150cm, και ένα κωνικό τμήμα 40 εκατοστών στο επάνω μέρος. Σε ύψος 50cm από τη βάση του αντιδραστήρα τοποθετείται μια πορώδης πλάκα από ανοξείδωτο χάλυβα πάχους 5 mm (διασκορπιστής), η οποία συγκρατεί το αδρανές υλικό στο κέντρο περίπου του πυρήνα, ενώ επιτρέπει στον αέρα, ο οποίος εισέρχεται από τη βάση του κυλίνδρου, να περνάει και να προκαλεί τη ρευστοποίηση του αδρανούς υλικού. Ο χώρος πάνω από την κλίνη του αδρανούς υλικού ονομάζεται freeboard (ελεύθερο όριο), και μέσα σε αυτόνεπιτυγχάνεται η μείωση της ταχύτητας του καυσαερίου και ο περιορισμός της απομάκρυνσης του υλικού της κλίνης λόγω συμπαρασυρμού.

Η κλίνη περιβάλλεται από ηλεκτρικές αντιστάσεις για την προθέρμανσή της και τη διατήρηση της θερμοκρασίας της. Το σύστημα των ηλεκτρικών αντιστάσεων ελέγχεται από PID ρυθμιστές. Η κλίνη είναι μονωμένη εξωτερικά από στρώσεις κεραμοβάμβακα.

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας πραγματοποιείται μέσω ενός ρυθμιστή θερμοκρασιών με 7 Ni/Cr-Ni θερμοστοιχεία, τύπου K, εσωτερικά του πυρήνα του αντιδραστήρα και μέσω ενός ενσωματωμένου στις αντιστάσεις θερμοστοιχείου.

1.3 Σύστημα Καταγραφής Θερμοκρασίας

Θερμοστοιχεία τύπου K έχουν εγκατασταθεί σε διάφορα σημεία της εγκατάστασης ρευστοποιημένης κλίνης. Αυτά παρέχουν συνεχώς ενδείξεις θερμοκρασίας με ακρίβεια ± 5 °C. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η δυνατότητα ηλεκτρονικής καταγραφής των ενδείξεων τους μέσω κατάλληλου συστήματος καταγραφής δεδομένων. Επίσης, χρησιμοποιείται διαφορικό μανόμετρο, για τον προσδιορισμό της πτώσης πίεσης στην κλίνη κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

1.4 Σύστημα Συλλογής Ιπτάμενης Τέφρας

Το καυσαέριο από την κλίνη σωματιδίων οδηγείται μέσω σωληνώσεων σε έναν κυκλώνα, προκειμένου να απομακρυνθεί η ιπτάμενη τέφρα από την καύση, καθώς και άλλα σωματίδια (άκαυστα ή αδρανές). Η τέφρα που δεσμεύεται συλλέγεται σε δοχείο που έχει προσαρμοστεί στο κάτω μέρος του κυκλώνα.

Το αέριο καθαρό από σωματίδια διοχετεύεται σε σύστημα ψύξης / συμπύκνωσης με νερό για την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων συμπυκνώσιμων ενώσεων. Τα συμπυκνώματα συλλέγονται σε δοχείο που διαθέτει βάνα για το άδειασμά του όταν γεμίσει. Για λόγους ασφαλείας στην έξοδο της εγκατάστασης το απαέριο διοχετεύεται μέσω σιληνώνσεων σε απαγωγό.

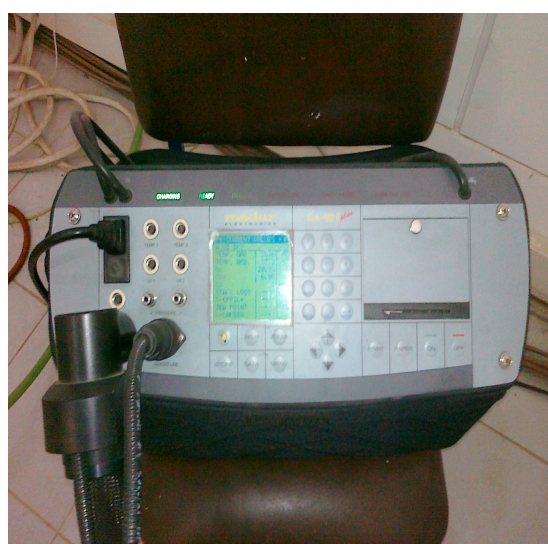
1.5 Σύστημα Δειγματοληψίας και Ανάλυσης Καυσαερίων

Μετά τον κυκλώνα και το δοχείο συλλογής της ιπτάμενης τέφρας τοποθετείται η γραμμή δειγματοληψίας καυσαερίου. Το δείγμα του καυσαερίου οδηγείται σε ψύκτη για την απομάκρυνση των υδρατμών. Το ξηρό πλέον δείγμα καυσαερίου διοχετεύεται σε on-line αναλυτή καυσαερίων τύπου Madur Ga-40plus της Sick-Maihak, που είναι εξοπλισμένος με ενσωματωμένο φίλτρο και ξηραντήρα. Ο αναλυτής καταγράφει την περιεκτικότητα του καυσαερίου σε οξυγόνο (O_2), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του θείου (SO_2) και οξείδια του αζώτου (NO_x). Καταγράφει, επίσης, την απώλεια θερμότητας, τη θερμοκρασία καυσαερίων και το συντελεστή περίσσειας αέρα λ. Όλα τα δεδομένα αποθηκεύονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Εικόνα 1.5.1:

Σύστημα συλλογής ιπτάμενης τέφρας



Εικόνα 1.5.2

Καταγραφικός αναλυτής madur

2 ΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

2.1 Επιλογή και Προέλευση Καυσίμων

Τα καύσιμα που επιλέχθηκαν στην παρούσα εργασία είναι τα κλαδευτικά υπολείμματα αμπελώνων και τα υπολείμματα επεξεργασίας σταφυλιών. Τα υπολείμματα επεξεργασίας αμπελιού χωρίζονται με τη σειρά τους σε δύο είδη: α) τα στέμφυλα και β) τα τσάμπουρα. Συνοπτικά, εξετάστηκε η καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη των παρακάτω καυσίμων:

- στέμφυλα
- μείγμα από στέμφυλα και κλαδευτικά υπολείμματα αμπελιού

Η επιλογή του καυσίμου είχε ως στόχο την πλήρη αξιοποίηση των υπολειμμάτων κατεργασίας αμπελώνων για την παρασκευή σταφίδων, κρασιού, άλλων οινοπνευματωδών ποτών όπως το τσίπουρο και τελικά οινοπνεύματος (αιθανόλης), σε όλο το κύκλο ζωής του προϊόντος, από το δέσιμο των καρπών, έως το κόψιμο των σταφυλιών και την τελική επεξεργασία τους. Το είδος της καλλιέργειας που επιλέχθηκε, το αμπέλι, ή κλήμα είναι αγγειόσπερμοφυτό, ανήκει δε στην τάξη των Ραμνωδών και στην οικογένεια των Αμπελοειδών, με πολλές ποικιλίες που καλλιεργούνται στις εύκρατες περιοχές της γης.

Η συλλογή των κληματίδων και των στέμφυλων πραγματοποιήθηκε σε έναν αμπελώνα στο Δήμο Βάμου Αποκορώνου του Ν. Χανίων. Έπειτα, τα δείγματα μεταφέρθηκαν και αποθηκεύτηκαν στο εργαστήριο Εξευγενισμού και Τεχνολογίας Στερεών Καυσίμων για να προετοιμαστούν για καύση, αφού πρώτα προξηράνθηκαν.

2.2 Προετοιμασία Δειγμάτων

Τα δείγματα αεροξηράνθηκαν εντός του εργαστηρίου, ακολούθησε άλεση στον μαχαιρόμυλο (Pulverisette 15 της εταιρίας FRITSCH) και κατόπιν κοσκίνιση σε μια συσκευή δονούμενων κόσκινων (μοντέλο Analysette 3 PRO της εταιρείας FRITSCH) προκειμένου να αποκτήσουν κοκκομετρία +850-2800 μm . Για το αρχικό άλεσμα κληματίδων και στέμφυλων, χρησιμοποιήθηκε ο μαχαιρόμυλος και στη συνέχεια το δείγμα κοσκινίστηκε για να διαχωριστεί η κοκκομετρία όλων των δειγμάτων. Η κοκκομετρία προσδιορίστηκε πειραματικά με γνώμονα την ορθότερη συμπεριφορά τους κατά τη διεργασία της καύσης στη ρευστοποιημένη κλίνη.



Εικόνα 2.2.1:

Δονούμενο σύστημα κοσκίνων



Εικόνα 2.2.2:

Μαχαιρόμυλος



Εικόνα 2.2.3:

Αρχική κοκκομετρία στέμφυλων



Εικόνα 2.2.4:

Τελική κοκκομετρία στέμφυλων

2.3 Ποιοτικός Χαρακτηρισμός Καυσίμων

Για το χαρακτηρισμό των καυσίμων βιομάζας που μελετήθηκαν απαιτήθηκε η λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων από όλα τα υλικά, κοκκομετρίας $-425\mu\text{m}$. Κατά τον χημικό χαρακτηρισμό που ακολούθησε έγινε προσεγγιστική ανάλυση σε προγραμματιζόμενους κλιβάνους υψηλών θερμοκρασιών (προσδιορισμός του ποσοστού υγρασίας, καύσιμης ύλης και

τέφρας).

2.4 Προσεγγιστική Ανάλυση

▪ Προσδιορισμός υγρασίας

Σύμφωνα με τα πρότυπα BS EN 14774, αντιπροσωπευτικό δείγμα 2 g ζυγίζεται σε αναλυτικό ζυγό με ακρίβεια 0,1 mg (m₁) και θερμαίνεται για 1 ώρα στους 105 °C. Κατόπιν, φυλάσσεται για 15 λεπτά σε συνθήκες έλλειψης υγρασίας (πυριαντήριο) και στη συνέχεια ξαναζυγίζεται. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, μέχρι 2 διαδοχικές τιμές να έχουν διαφορά βάρους μικρότερη των 0,2 mg.

Η υγρασία υπολογίζεται από τη σχέση 2.4.1

$$\text{Υγρασία \%} = \{(m_2 - m_1) / m_1\} * 100 \quad (2.1)$$

Όπου, m₁ = το αρχικό βάρος του δείγματος σε g

m₂ = το τελικό βάρος του δείγματος μετά ξήρανση σε g

▪ Προσδιορισμός τέφρας

Ο προσδιορισμός της τέφρας πραγματοποιήθηκε κατά τα πρότυπα BS EN 14775, σύμφωνα με τα οποία τα δείγματα καίγονται σε θερμοκρασία 560 °C. Μετά την καύση, τα δείγματα μεταφέρονται σε συνθήκες έλλειψης υγρασίας, έως ότου να φτάσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Κατόπιν ζυγίζονται στον αναλυτικό ζυγό και ο προσδιορισμός της τέφρας υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Τέφρα \%} = (\text{υπόλειμμα καύσης}) * 100 / (\text{αρχικό ξηρό βάρος}) \quad (2.2)$$

• Προσεγγιστική ανάλυση

Στην προσεγγιστική ανάλυση, προσδιορίζεται η κατά βάρος σύσταση της βιομάζας σε πτητικά, τέφρα και μόνιμο άνθρακα. Ως μόνιμος άνθρακας χαρακτηρίζεται το ποσοστό του άνθρακα, που δεν αντιδρά, για την παραγωγή πτητικών προϊόντων (πτητικός άνθρακας). Γενικά, η βιομάζα παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά (>70%), σε αντίθεση με τους γαιάνθρακες (40%). Το σημαντικό ποσοστό πτητικών δημιουργεί την ανάγκη παροχής δευτερεύοντα αέρα, επάνω από την εστία καύσης, στις μονάδες καύσης βιομάζας. Η τέφρα θεωρείται σαν παραπροϊόν που, ανάλογα με τη χημική σύνθεση και ποσότητα, μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στις μονάδες καύσης ή αεριοποίησης, γιατί σε υψηλές θερμοκρασίες τήκεται και προκαλεί την υάλωση, η οποία καταστρέφει τόσο τα τοιχώματα, όσο και τη σχάρα. Επίσης, το μεγάλο ποσοστό τέφρας δημιουργεί την ανάγκη αυτόματης απομάκρυνσης της από το θάλαμο καύσης, καθώς και εγκατάστασης συστημάτων κατακράτησης της ιπτάμενης τέφρας στην καπνοδόχο. Ωστόσο, η τέφρα παίζει θετικό ρόλο στην αεριοποίηση, λόγω των μετάλλων που περιέχει, τα οποία καταλύουν ορισμένες αντιδράσεις στην αέρια φάση. Σε ότι αφορά στο μόνιμο άνθρακα, σημειώνεται ότι κατά την πυρόλυση ο άνθρακας που παραμένει μετά την διεργασία, είναι πολύ πιο ενεργός, από χημική άποψη και επομένως πιο εύκολο να αεριοποιηθεί από το μόνιμο άνθρακα των γαιανθράκων

2.5 Το Αδρανές Υλικό

Χρησιμοποιήθηκε Na-ούχος άστριος, πυκνότητας $\rho_s = 2670 \text{ kg/m}^3$ και μέσης διαμέτρου κόκκων $d_s = 505 \text{ }\mu\text{m}$ (κλάσμα 355 μm - 500 μm). Η σύσταση του άστριου ήταν η ακόλουθη: SiO₂=67.7%, Al₂O₃=20.3%, Fe₂O₃=0.05%, CaO=0.5%, MgO=0.05%, TiO₂=0.05%, Na₂O=11.2% και K₂O=0.15%. Για την επίτευξη της κατάλληλης κοκκομετρίας χρησιμοποιήθηκε ένας πλανητικός σφαιρόμυλος για τη λειοτρίβηση του υλικού και κατόπιν μια συσκευή δονούμενων κοσκίνων.

Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης προκύπτει ότι το αδρανές υλικό αποτελείται κατά κύριο

λόγο από πυριτικά και αργιλικά άλατα, ενώ η περιεκτικότητά του σε ασβέστιο είναι αμελητέα, που σημαίνει ότι ο άστριος δεν επιτρέπει την πραγματοποίηση φυσικής αποθείωσης των καυσαερίων. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την αναλλοίωτη διατήρησή του κατά τη διάρκεια της καύσης. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων χρησιμοποιούνται περίπου 980g αστρίου για την πλήρωση της κλίνης.

3. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

3.1 Θερμοκρασία Λειτουργίας

Η θερμοκρασία λειτουργίας της κλίνης επιλέχθηκε ώστε να διατηρείται μεταξύ 800 και 900 °C. Αυτή η περιοχή τιμών αντιπροσωπεύει τη θερμοκρασία υπό την οποία λειτουργούν οι καυστήρες ρευστοποιημένης κλίνης, ενώ ταυτόχρονα είναι δυνατή η μελέτη της επίδρασης που ασκεί αυτή, στην ορυκτολογία και τη χημεία της ιπτάμενης τέφρας που προκύπτει, καθώς και στη τάση του καυσίμου να προκαλεί επικαθίσεις, επισκωριώσεις και συσσωματώματα. Η προθέρμανση της κλίνης έγινε στους 700 °C, ενώ του αέρα της καύσης περίπου στους 550 °C.

3.2 Ποσότητα και Κοκκομετρία Αδρανούς

Οι τρεις αυτοί παράμετροι του αδρανούς υλικού της κλίνης προσδιορίστηκαν πειραματικά. Η ποσότητα και η κοκκομετρία του νατριούχου αστρίου, που επιλέχθηκε σαν αδρανές υλικό, προσδιορίστηκε παραμετρικά, με στόχο να μπορεί να επιτευχθεί ρευστοποίηση, χωρίς το αδρανές υλικό να παρασύρεται εκτός αντιδραστήρα και να γίνεται διαχωρισμός μεταξύ αυτού και της παραγόμενης από τη καύση τέφρας. Έτσι χρησιμοποιήθηκαν 980g αστρίου κοκκομετρίας 355μm – 500 μm.

3.3 Είδος, Ποσότητα και Κοκκομετρία Καυσίμου

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, τα καύσιμα που μελετήθηκαν στα πειράματα ήταν κλιματίδες και στέμφυλα. Η ροή καυσίμου ήταν 0,72 ή 0,84 kg/h. Τέλος, η κοκκομετρία προσδιορίστηκε παραμετρικά, με σκοπό να αποφεύγονται φαινόμενα άκαυστων σωματιδίων και να είναι σαφής ο διαχωρισμός της παραγόμενης από το καύσιμο τέφρας και του αδρανούς υλικού της κλίνης. Σύμφωνα με τις απαιτήσεις αυτές, η κοκκομετρία που προέκυψε είναι μεταξύ (850μm–2000μm) για τα στέμφυλα, ενώ για τις κλιματίδες (2000μm-1000μm).

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

4.1 Προετοιμασία Πειραμάτων

Για να εξασφαλιστεί η απρόσκοπτη διεξαγωγή και η ακρίβεια των πειραμάτων, έπρεπε να γίνουν ορισμένες ενέργειες πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας. Η προετοιμασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

Αντιδραστήρας: Άδειασμα του αντιδραστήρα και των σιλό, αφαίρεση και καθαρισμός του δίσκου (διασκορπιστή).

Ιπτάμενη τέφρα: Καθαρισμός δοχείου τέφρας, προκειμένου να διασφαλιστεί η καθαρότητα των παραγόμενων τερφών.

Υλικό κλίνης: Αρχικά, αφαιρείται ολόκληρη η ποσότητα του αδρανούς υλικού της κλίνης από το προηγούμενο πείραμα. Στη συνέχεια, το υλικό κοσκινίζεται για να αφαιρεθούν τα άκαυστα υλικά και να ανακτηθεί η ποσότητα που βρίσκεται στην επιθυμητή κοκκομετρία. Κατόπιν, προστίθεται ποσότητα αδρανούς υλικού της ίδιας κοκκομετρίας, μέχρις ότου συμπληρωθεί η ποσότητα των 980 gr.

Αντιδραστήρας: Προσεκτικός καθαρισμός του αντιδραστήρα με αέρα, που διοχετεύεται από δύο σημεία εισαγωγής: από το επάνω μέρος του κωνικού τμήματος και από τη μέση του κυλινδρικού τμήματος του αντιδραστήρα. Κατόπιν, ακολουθεί κλείσιμο του αντιδραστήρα και συναρμολόγηση.

Θερμοστοιχεία: Προτού κλείσει ο αντιδραστήρας ελέγχονται τα θερμοστοιχεία εάν έχουν μετακινηθεί από τις προκαθορισμένες θέσεις τους.

Καύσιμο: Ξήρανση του δείγματος προτού εισέλθει στον καυστήρα, στους 100 °C για 10 ώρες.

Παροχή τροφοδοσίας: Βαθμονόμηση παροχής υλικού τροφοδοσίας στο πρώτο σιλό. Η βαθμονόμηση πραγματοποιείται μία φορά για κάθε υλικό.

Μονώσεις: Επικάλυψη σωληνώσεων με υαλοβάμβακα, για την ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας.

4.2 Μεθοδολογία Διεξαγωγής Πειραμάτων

Για κάθε είδος καυσίμου, επιλέχθηκαν δύο ανεξάρτητες μεταβλητές: η παροχή καυσίμου τροφοδοσίας και ο λόγος περίσσειας αέρα. Η παροχή καυσίμου ρυθμιζόταν σε 0,72 ή 0,84 kg/h, ενώ ο λόγος λ της περίσσειας αέρα κυμαινόταν μεταξύ των τιμών 1,2 και 1,4.

Για την εκτέλεση των πειραμάτων ρευστοποίησης ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Αρχικά, πραγματοποιείται η προθέρμανση της κλίνης με κατάλληλη ρύθμιση των ηλεκτρικών αντιστάσεων και κατόπιν ξεκινά η τροφοδοσία του καυσίμου. Η παροχή του καυσίμου στην κλίνη ρυθμίζεται μέσω inverter που ελέγχει τον κινητήρα του τροφοδοτικού κοχλία. Παράλληλα με την τροφοδοσία του καυσίμου, τροφοδοτούμε το σύστημα με αέριο άζωτο. Στην αρχή και για λίγο χρονικό διάστημα, η παροχή του αζώτου ρυθμίζεται σε υψηλά επίπεδα, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η σωστή τροφοδοσία της βιομάζας. Στο επόμενο διάστημα, η παροχή του αζώτου έχει μειωθεί στα επιθυμητά επίπεδα και η θερμοκρασία της κλίνης αυξάνεται λόγω της καύσης.

Κατά τη λειτουργία του καυστήρα, μετά από 15 min περίπου η κλίνη βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση (steady state) και γίνονται μόνο μικρές ρυθμίσεις στην παροχή αέρα, όταν παρατηρούνται κάποιες αυξομειώσεις. Η παροχή του καυσίμου διατηρείται σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Αφού συμπληρωθεί η προβλεπόμενη διάρκεια πειράματος, τότε διακόπτεται η παροχή καυσίμου και αρχίζει η ψύξη της κλίνης, μέσω της παροχής αέρα που συντηρεί τη ρευστοποίηση. Μόλις η κλίνη αποκτήσει θερμοκρασία δωματίου, περίπου 18 ώρες αργότερα, αφαιρείται η βάση του αντιδραστήρα, αποσπώντας τον εσωτερικό κύλινδρο του πυρήνα και το αδρανές συλλέγεται σε σακούλα. Ακολουθεί ζύγιση του αδρανούς, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι όλη η ποσότητά του παρέμενε στον αντιδραστήρα και λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος για αναλύσεις. Τέλος, αφαιρείται η τέφρα από το δοχείο συλλογής του κυκλώνα, ζυγίζεται και τοποθετείται σε σακουλάκια για περαιτέρω εργαστηριακή ανάλυση.

Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιείται συνεχής καταγραφή των εκπομπών μέσω του συστήματος καταγραφής. Στο τέλος του πειράματος τα δεδομένα αποθηκεύονται σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη μορφή αρχείων excel.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Χημικές Αναλύσεις Αρχικών Δειγμάτων

Οι ιδιότητες των υλικών παρουσιάζονται συνοπτικά στους Πίνακες 4.1.1 έως 4.1.3

Πίνακας 4.1.1: Προσεγγιστική Ανάλυση (% επί ξηρού) δειγμάτων βιομάζας

ΔΕΙΓΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑΣ	ΥΓΡΑΣΙΑ	ΠΤΗΤΙΚΑ	ΤΕΦΡΑ	ΜΟΝΙΜΟΣ
Στέμφυλα με αλκοόλη	6,5	67,7	16,5	15,8
Στέμφυλα χωρίς αλκοόλη	7,0	65,7	10,7	23,5
Κληματίδες	6,6	80,9	3,0	16,0

Πίνακας 4.1.2: Στοιχειακή Ανάλυση (% επί ξηρού) δειγμάτων βιομάζας

ΔΕΙΓΜΑ	C	H	N	O	S	ΤΕΦΡΑ	Α.Θ.Δ (MJ/kg)
Στέμφυλα με αλκοόλη	49	6,5	2,8	24,7	0,44	16,5	20,1
Στέμφυλα χωρίς αλκοόλη	49,4	6,5	2,6	30,2	0,45	10,7	20,8
Κληματίδες	46,6	6,3	0,95	43,0	0,07	3,0	18,7

Πίνακας 4.1.3: Χημική ανάλυση τέφρας 560°C (% επί ξηρού) δειγμάτων βιομάζας

ΔΕΙΓΜΑ	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	A.Π.(%) (1050°C)
Στέμφυλα χωρίς αλκοόλη	4,2	0,77	23,73	4,15	4,46	22,54	0,04	10,19	8,31	21
Κληματίδες	1,55	0,19	13,81	3,08	11,81	26,23	0,19	8,44	3,47	33,7

Οι κληματίδες εμφανίζουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πτητικά από τα στέμφυλα, με και χωρίς αλκοόλη, τα οποία έχουν παρόμοια σύσταση. Η τιμή στην ανώτερη θερμογόνο δύναμη για στέμφυλα με και χωρίς αλκοόλη είναι παρόμοια και

μεγαλύτερη από εκείνη των κληματίδων. Αυτό οφείλεται στα πλούσια πτητικά που διαθέτουν, στον υψηλό στοιχειακό άνθρακα και (ενώ η τέφρα είναι μεγαλύτερη), στο χαμηλότερο ποσοστό οξυγόνου από αυτό των κληματίδων. Από την στοιχειακή ανάλυση (Πίνακας 4.1.2) περιμένουμε εκπομπές οξειδίων αζώτου μεγαλύτερες στα στέμφυλα με και χωρίς αλκοόλη, ενώ οι εκπομπές θείου αναμένουμε να είναι αμελητέες, αφού το θείο εμφανίζει πολύ χαμηλή τιμή και στα δύο είδη καυσίμου.

Όπως παρατηρείται και από την στοιχειακή ανάλυση (Πίνακας 4.1.2), τα στέμφυλα με και χωρίς αλκοόλη δεν εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις. Για το λόγο αυτό, σε όλα τα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν σε ίσα ποσοστά, ως ένα δείγμα.

Στη χημική ανάλυση τέφρας των δειγμάτων (Πίνακας 4.1.3), παρατηρείται ότι οι τέφρες των καυσίμων περιέχουν περισσότερο K, P και Ca, τα οποία αποτελούν θρεπτικά συστατικά για τα φυτά. Η τέφρα των τριών καυσίμων περιέχει σημαντική ποσότητα Mg, στοιχείο χαρακτηριστικό της τέφρας της βιομάζας που προέρχεται από τη χλωρίδα, καθώς το Mg αποτελεί βασικό συστατικό της χλωροφύλλης, περιέχεται σε πολλά λιπάσματα και είναι ιδιαίτερα διαλυτό στο νερό, με αποτέλεσμα να μεταφέρεται σε δέντρα και φυτά μέσω του εδάφους. Επιπρόσθετα, καθώς το ξύλο είναι υλικό πλούσιο σε Ca, δικαιολογείται η υψηλή περιεκτικότητα Ca στις κληματίδες. Η χημική ανάλυση της τέφρας των δειγμάτων που μελετήθηκαν, όσον αφορά τις κληματίδες, παρουσιάζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε Ca και μικρότερες σε Na και Mg [17,18]. Τα στέμφυλα με αλκοόλη παρουσιάζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε K και P, ενώ τέλος τα στέμφυλα χωρίς αλκοόλη έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε K και S [19].

4.2 Προφίλ Θερμοκρασίας κατά Μήκος του Καυστήρα, Εκπομπές Ρύπων και Απόδοση Καύσης για Σταθερή Τροφοδοσία Καυσίμου και Περίσσεια Αέρα

4.2.1 Αρχικά Δείγματα

Το εύρος της θερμοκρασίας λειτουργίας της ρευστοποιημένης κλίνης καθορίζεται από την εκάστοτε εφαρμογή και τα χαρακτηριστικά του καυσίμου. Η ελάχιστη θερμοκρασία καθορίζεται από την ανάγκη να διατηρηθεί σε σταθερή κατάσταση η θερμική διεργασία, ενώ η λειτουργία σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από την επιτρεπόμενη προκαλεί μείωση του βαθμού απόδοσης.

Στο Πίνακα 4.2.1 παρατηρείται ότι σε όλα τα πειράματα καύσης στέμφυλων και κληματίδων, οι θερμοκρασίες της κλίνης κυμάνθηκαν μεταξύ 835 και 856° C. Οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες στην κλίνη επιτεύχθηκαν στα πειράματα όπου χρησιμοποιήθηκαν οι κληματίδες ως καύσιμο, λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε πτητικά και του χαμηλού ποσοστού τέφρας που διαθέτουν.

Πίνακας 4.2.1: Προφίλ θερμοκρασίας, εκπομπές ρύπων, απώλειες θερμότητας και απόδοση από κληματίδες/στέμφυλα σε καυστήρα ρευστοποιημένης κλίνης (FBC) για τροφοδοσία F=12g/min συναρτήσει της περίσσειας του αέρα λ=1,4

	Είδος καυσίμου	Θερμοκρασία (°C)					Εκπομπές NO _x (ppm)	Εκπομπές CO (ppm)	Εκπομπές SO ₂ (ppm)	L _{co} (%)	Απόδοση (%)
		Απόσταση από διασκορπιστή αέρα (mm)									
30	80	150	250	450							
	Στέμφυλα	839	836	835	839	840	562	1027	-	0,99	99
	Κληματίδες	856	855	848	830	812	206,8	660,7	11,9	0,99	99

Διάγραμμα 4.2.1: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα για τροφοδοσία F=12g/min και λόγο περίσσειας λ=1,4

Στο Διάγραμμα 4.2.1 παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του καυστήρα για τροφοδοσία καυσίμου F=12gr/min και λόγο περίσσειας λ=1,4. Παρατηρείται ότι οι κληματίδες καίγονται κυρίως κοντά στη ζώνη ανάμιξης, όπου η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας επιτεύχθηκε στα 25 mm πάνω από την πλάκα κατανομής του αέρα. Όσον αφορά στα στέμφυλα, οι μέγιστες θερμοκρασίες πετυχαίνονται στα πρώτα εκατοστά πάνω από το διασκορπιστή του αέρα. Στις κληματίδες, η θερμοκρασία των καυσαερίων έχει πιάσει

τη μέγιστη τιμή της (856°C) στα πρώτα 30 mm και στη συνέχεια βαίνει διαρκώς μειούμενη μέχρι το κωνικό τμήμα του καυστήρα. Τα στέμφυλα αναμειγνύονται καλά με το αδρανές υλικό και η καύση τους είναι σταθερή κατά μήκος της κλίνης. Η θερμοκρασία δεν μεταβάλλεται κατά μήκος της κλίνης. Γενικά, οι θερμοκρασίες στο ελεύθερο όριο ($>150\text{mm}$) είναι υψηλές, λόγω της καύσης των πτητικών συστατικών των δειγμάτων.

Εκπομπές ρύπων

Διάγραμμα 4.2.2: Μέσος όρος εκπομπών CO και NO_x για τροφοδοσία καυσίμου $F=12\text{g/min}$ και λόγο περισσειας $\lambda=1,4$

Στο Διάγραμμα 4.2.2 παρουσιάζεται ο μέσος όρος εκπομπών CO και NO_x από την καύση των δύο υλικών βιομάζας στη ρευστοποιημένη κλίνη, για τροφοδοσία καυσίμου $F=12\text{g/min}$ και λόγο περισσειας αέρα $\lambda=1,4$. Μελετώντας το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι υψηλότερες τιμές CO εμφανίζονται από την καύση των στέμφυλων, καθώς και οι μεγαλύτερες εκπομπές NO_x .

Οι αυξημένες εκπομπές CO που εμφανίζονται κατά την καύση των στέμφυλων οφείλονται στη θερμοκρασία, η οποία είναι χαμηλότερη από ότι στις κληματίδες και στα πτητικά τα οποία περιέχονται στο ελεύθερο όριο, τα οποία δημιουργούν μια αναγωγική ατμόσφαιρα, εμποδίζοντας την οξείδωση του CO . Παρόλ'αυτά, οι εκπομπές CO μένουν σε χαμηλά επιτρεπτά όρια. Τα στέμφυλα εμφανίζουν σχεδόν τριπλάσια τιμή αζώτου N σε σχέση με τις κληματίδες, επομένως είναι αναμενόμενη και η μεγαλύτερη τιμή στις εκπομπές NO_x . Σύμφωνα με τη νομοθεσία, για καύση βιομάζας σε μικρές μονάδες, τα επιτρεπτά όρια για τις εκπομπές NO_x είναι $200\text{--}350\text{mg/Nm}^3$ και οι εκπομπές CO κυμαίνονται μεταξύ 891 και 1560mg/Nm^3 [4].

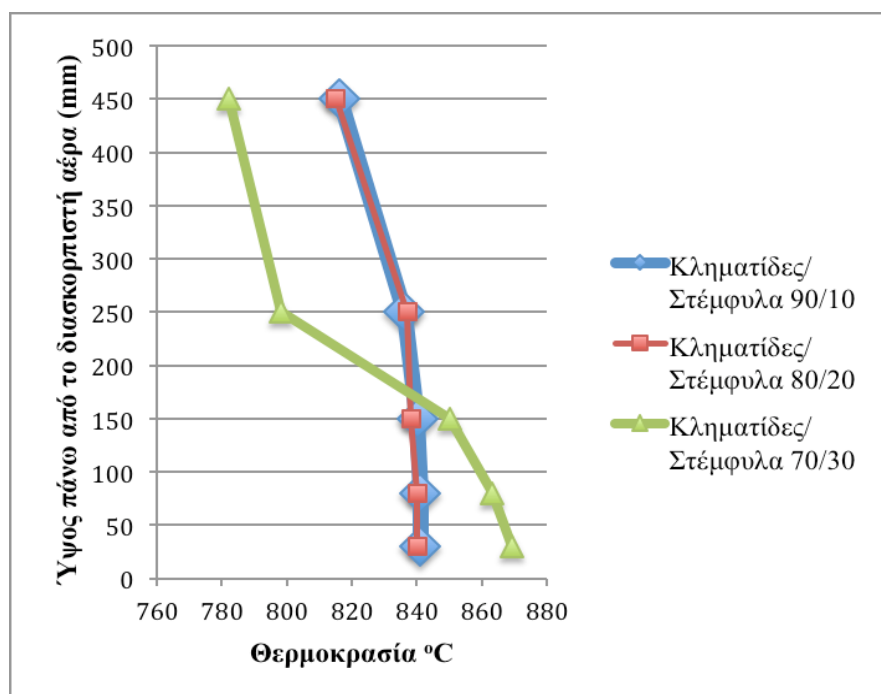
Οι εκπομπές SO₂ κατά την καύση των καυσίμων παραμένουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Η απόδοση και για τα δύο καύσιμα ήταν σε υψηλά επίπεδα (99%) , διότι έχουν ληφθεί υπόψη μόνο οι απώλειες λόγω CO και όχι οι απώλειες οργανικής ύλης στις τέφρες του πυθμένα και του κυκλώνα.

4.2.2 Μίγματα

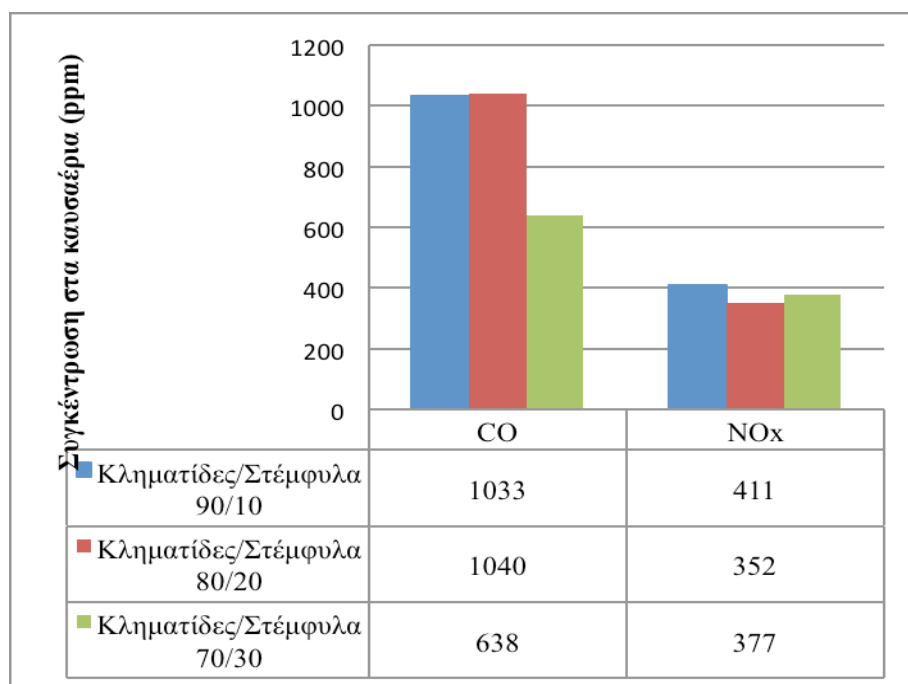
Πίνακας 4.2.2: Προφίλ θερμοκρασίας, εκπομπές ρύπων, απόδοση και απώλειες θερμότητας από στέμφυλα/κληματίδες σε καυστήρα ρευστοποιημένης κλίνης (FBC) για τροφοδοσία F=12g/min συναρτήσει της περισσειας του αέρα λ=1,4

Είδος καυσίμου	Θερμοκρασία (°C)					Εκπομπές	Εκπομπές	Εκπομπές	Lco	Απόδοση	
	Απόσταση από διασκορπιστή αέρα (mm)					NO _x (ppm)	CO (ppm)	SO ₂ (ppm)	(%)	(%)	
30	80	150	250	450							
Κλημ./Στέμφ. (90/10)	841	841	840	836	816	411	1033	34,6	0,99	99	
Κλημ./Στέμφ. (80/20)	840	840	838	837	815	352	1040	29,0	0,99	99	
Κλημ./Στέμφ. (70/30)	869	863	850	798	782	377	638	49,5	0,99	99	



Διάγραμμα 4.2.3: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα για τροφοδοσία F=12g/min και λόγο περισσειας λ=1,4

Από τον Πίνακα 4.2.2 και το Διάγραμμα 4.2.3, παρατηρείται ότι τα μίγματα κλημ./στέμφ. 90/10 και 80/20 εμφανίζουν σχεδόν όμοιες θερμοκρασίες στα διάφορα ύψη πάνω από το διασκορπιστή αέρα. Το μίγμα κλημ./στέμφ. 70/30 εμφανίζει παρόμοια συμπεριφορά μέχρι τα 150 mm περίπου πάνω από την πλάκα κατανομής του αέρα, ενώ μετά η θερμοκρασία μειώνεται αισθητά μέχρι το κωνικό τμήμα του καυστήρα. Αυτό το πιο πιθανό οφείλεται στο ότι τα πτητικά συστατικά κάηκαν μέσα στην κλίνη φτάνοντας τους 850°C. Αντίθετα, στα μίγματα 90/10 και 80/20 παρατηρείται υψηλή θερμοκρασία ακόμη και στα 450 mm πάνω από το διασκορπιστή αέρα, υποδεικνύοντας ότι η πτητική ύλη εξακολουθεί να αντιδρά με το οξυγόνο στην αέρια φάση.



Διάγραμμα 4.2.4: Μέσος όρος εκπομπών CO και NO_x για τροφοδοσία καυσίμου F=12g/min και λόγο περίσσειας λ=1,4

Στο Διάγραμμα 4.2.4 παρουσιάζεται ο μέσος όρος εκπομπών CO και NO_x από την καύση των δύο υλικών βιομάζας στη ρευστοποιημένη κλίνη για τροφοδοσία καυσίμου F=12g/min και λόγο περίσσειας αέρα λ=1,4. Μελετώντας το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι εκπομπές CO είναι σχεδόν ίδιες στα μίγματα κλη./στέμφ. 90/10 και 80/20 λόγω των ίδιων θερμοκρασιών που επιτεύχθηκαν κατά την καύση. Στο μίγμα κλημ./στέμφ. 70/30 οι εκπομπές CO είναι χαμηλότερες λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας καύσης. Οι εκπομπές CO παραμένουν μέσα στα επιτρεπτά όρια [4].

Απ' την άλλη πλευρά, οι εκπομπές NO_x θα περιμέναμε να αυξάνονται, αυξανόμενου του ποσοστού των στεμφύλων στο μίγμα, αφού τα στέμφυλα έχουν μεγαλύτερη τιμή αζώτου από τις κληματίδες. Όμως, τα πολλά πτητικά των στέμφυλων στο ελεύθερο όριο, εξηγούν ίσως τη μείωση των εκπομπών NO_x λόγω δημιουργίας αναγωγικής ατμόσφαιρας. Ας σημειωθεί, επίσης, ότι οι εκπομπές NO_x επηρεάζονται σημαντικά από τη θερμοκρασία.

Οι εκπομπές SO_2 κατά την καύση παραμένουν πολύ χαμηλές.

4.3 Επίδραση της Περίσσειας του Αέρα στις Χαρακτηριστικές Παραμέτρους Καύσης

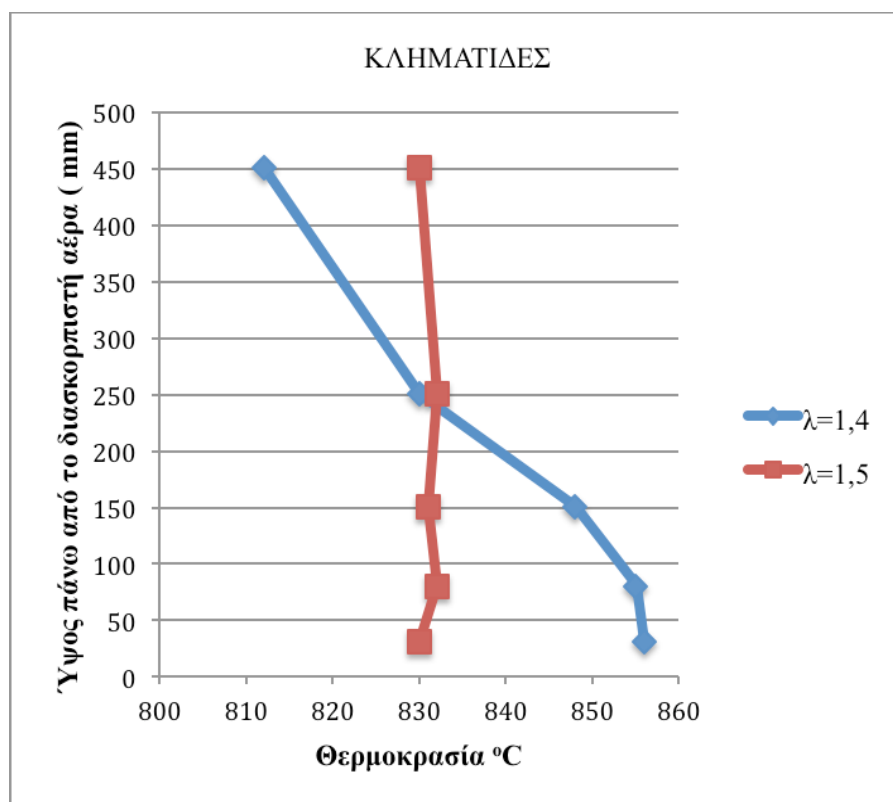
4.3.1 Αρχικά Δείγματα

Πίνακας 4.3.1: Προφίλ θερμοκρασίας, εκπομπές ρύπων, απώλειες θερμότητας και απόδοση από κληματίδες/στέμφυλα σε καυστήρα ρευστοποιημένης κλίνης (FBC) για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας αέρα

Είδος καυσίμου		Θερμοκρασία (°C)					Λόγος λ	Εκπομπές NOx	Εκπομπές CO	Εκπομπές SO2	Lco (%)	Απόδοση (%)
		Απόσταση από διασκορπιστή αέρα (mm)										
30	80	150	250	450								
Στέμφυλα		872	872	873	871	845	1,3	557	1016	0	0,99	99
Στέμφυλα		839	836	835	839	840	1,4	562	1027	0	0,99	99
Στέμφυλα		828	828	830	829	828	1,5	595	1030	0	0,99	99
Κληματίδες		856	855	848	830	812	1,4	206,8	660,7	11,87	0,99	99
Κληματίδες		830	832	831	832	830	1,5	344,9	1076,9	1,72	0,99	99

Από τον Πίνακα 4.3.1 και το Διάγραμμα 4.3.1 συμπεραίνεται ότι με την αύξηση της περίσσειας αέρα κατά την καύση των στέμφυλων και με τροφοδοσία καυσίμου 12g/min μειώθηκε το προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα. Για περίσσεια αέρα $\lambda=1,5$ η θερμοκρασία παραμένει σχεδόν σταθερή σε όλο το μήκος του καυστήρα. Με την αύξηση της περίσσειας αέρα από 30% έως 50% φαίνεται ότι προκαλείται μερική ψύξη στον κλίβανο λόγω του αέρα που ρέει σε ένα υψηλότερο ποσοστό.

Διάγραμμα 4.3.1: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας του αέρα



Διάγραμμα 4.3.2: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας του αέρα

Ομοίως, με την αλλαγή της περίσσειας αέρα κατά την καύση των κληματίδων και με τροφοδοσία 12g/min παρατηρήθηκε μείωση της θερμοκρασίας κατά μήκος του καυστήρα (Διάγραμμα 4.3.2). Για περίσσεια αέρα $\lambda=1,5$ η θερμοκρασία παραμένει σχεδόν σταθερή σε όλο το μήκος του καυστήρα.

Διάγραμμα 4.3.3: Μέσος όρος εκπομπών CO και NO_x για στέμφυλα με τροφοδοσία F=12g/min συναρτήσει της περίσσειας του αέρα

Όσον αφορά τις εκπομπές καυσαερίων, από τον Πίνακα 4.3.1 και το Διάγραμμα 4.3.3 μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι εκπομπές SO₂ για τα καύσιμα είναι αμελητέες, αφού καμμία αλλαγή στις τιμές δεν ήταν εμφανής, με τις διαφορετικές αναλογίες αέρα. Απ' την άλλη η συγκέντρωση CO ήταν αυξημένη με τη μείωση της θερμοκρασίας και την υψηλότερη περίσσεια αέρα. Επίσης, ο σχηματισμός NO_x ευνοήθηκε με την αύξηση της περίσσειας του αέρα στο θάλαμο καύσης.

Διάγραμμα 4.3.4: Μέσος όρος εκπομπών CO, NO_x και SO₂ για κληματίδες με τροφοδοσία F=12g/min συναρτήσει της περισσειας του αέρα

Στην περίπτωση των κληματίδων, όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 4.3.4, η υψηλότερη αναλογία περισσειας αέρα οδηγεί στην παραγωγή μεγαλύτερων εκπομπών CO και NO_x, λόγω μείωσης της θερμοκρασίας της κλίνης και αύξησης της οξείδωσης του αζώτου του καυσίμου, αντίστοιχα.

Για όλα τα παραπάνω πειράματα, οι αποδόσεις της καύσης κυμάνθηκαν σε πολύ υψηλά επίπεδα (= 99%), λόγω του ότι οι απώλειες καύσης υπολογίστηκαν μόνο συναρτήσει του CO, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Στις κλασικές μονάδες καύσης στερεών ορυκτών καυσίμων, η αύξηση της παροχής του αέρα θα έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη ψύξη του κλιβάνου και μείωση του βαθμού απόδοσης, λόγω της αύξησης των απωλειών από τα καυσαέρια.

4.3.2 Μίγματα

Πίνακας 4.3.2: Προφίλ θερμοκρασίας, εκπομπές ρύπων, απώλειες θερμότητας και απόδοση από κληματίδες/στέμφυλα σε καυστήρα ρευστοποιημένης κλίνης (FBC) για τροφοδοσία F=12g/min συναρτήσει της περισσειας του αέρα

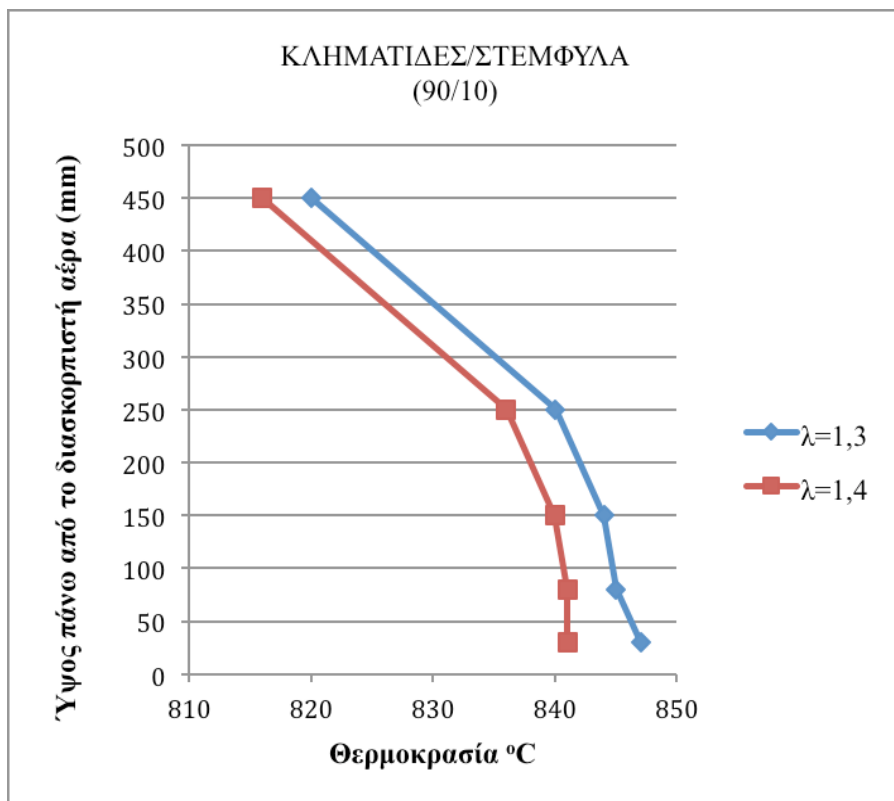
Είδος καυσίμου διασκορπιστή	Θερμοκρασία (°C)					Λόγος λ (ppm)	Εκπομπές NOx (ppm)	Εκπομπές CO (ppm)	Εκπομπές SO2	Lco (%)	Απόδοση (%)
	Απόσταση από αέρα (mm)										
30	80	150	250	450							
Κλημ./Στέμφ. (90/10)	847	845	844	840	820	1,3	389	570	4,86	0,99	99
Κλημ./Στέμφ. (90/10)	841	841	840	836	816	1,4	411	1033	33,57	0,99	99
Κλημ./Στέμφ. (80/20)	845	844	843	840	818	1,3	328	581	25	0,99	99
Κλημ./Στέμφ. (80/20)	840	840	838	837	815	1,4	352	1040	29	0,99	99
Κλημ./Στέμφ. (70/30)	874	870	855	793	787	1,3	272	421	-	0,99	99
Κλημ./Στέμφ. (70/30)	869	863	850	798	782	1,4	377	638	-	0,99	99

Στον Πίνακα 4.3.2 παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία μειώνεται, καθώς η περίσσεια αέρα αυξάνεται από 30% έως 40% και στα τρία μίγματα. Γι' αυτό το λόγο, η θερμοκρασία μειώνεται και οι εκπομπές CO αυξάνονται. Επίσης, οι εκπομπές NO_x ευνοούνται από την αύξηση της περισσειας του αέρα και είναι μεγαλύτερες από τις εκπομπές από την καύση κληματίδων μόνο. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, δεν εμφανίζεται κάποια τάση ως προς το ποσοστό των στέμφυλων στο μίγμα, διότι οι εκπομπές NO_x είναι ευαίσθητες στις θερμοκρασιακές μεταβολές στην κλίνη και στο ποσοστό των πτητικών συστατικών στο ελεύθερο όριο.

Όσον αφορά τις εκπομπές καυσαερίων, από τον Πίνακα 4.3.2 μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι εκπομπές SO₂ για τα μίγματα κλημ./στέμφ. 90/10 και 80/20 είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα, ενώ για το μίγμα κλημ./στέμφ. 70/30 η τιμή είναι μηδέν.

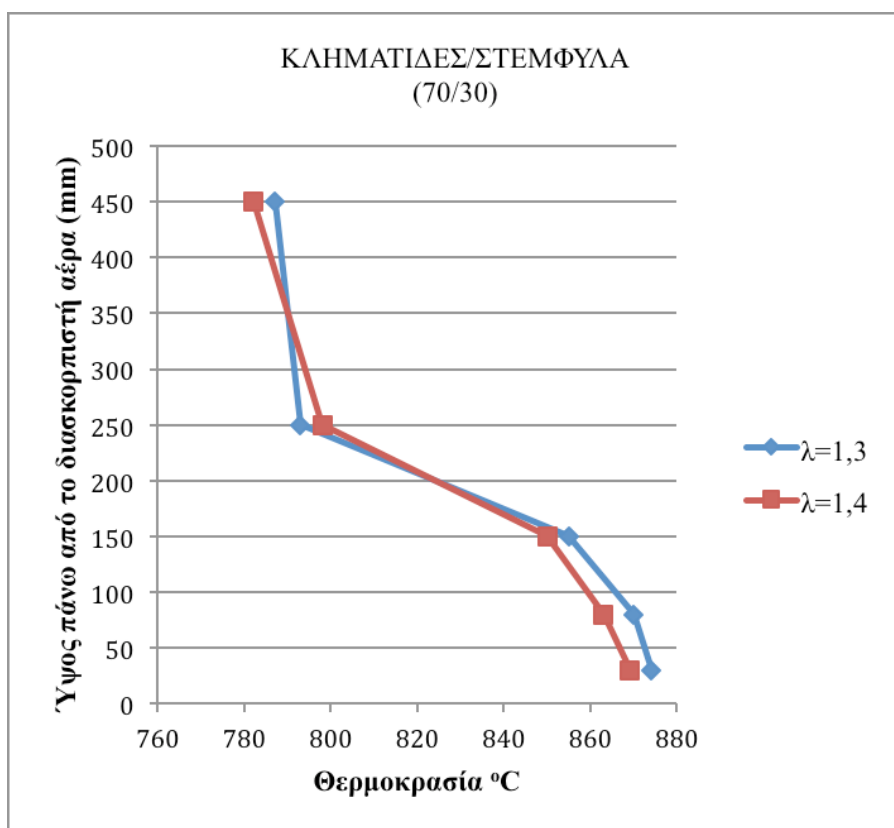
Για όλα τα παραπάνω πειράματα των μιγμάτων, οι αποδόσεις της καύσης κυμάνθηκαν σε πολύ υψηλά επίπεδα (99%), λόγω του ότι οι απώλειες καύσης υπολογίστηκαν μόνο συναρτήσει του CO, όπως έχει αναφερθεί ξανά.

Το παραπάνω πείραμα για τροφοδοσία 12g/min δεν πραγματοποιήθηκε για το μίγμα 50/50, διότι από τα αποτελέσματα των μιγμάτων 90/10 και 70/30 παρατηρήθηκε αύξηση της θερμοκρασίας με μέγιστη τιμή τους 870° C, η οποία θεωρείται ήδη υψηλή.



Διάγραμμα 4.3.5: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα για τροφοδοσία F=12g/min συναρτήσει της περίσσειας αέρα.

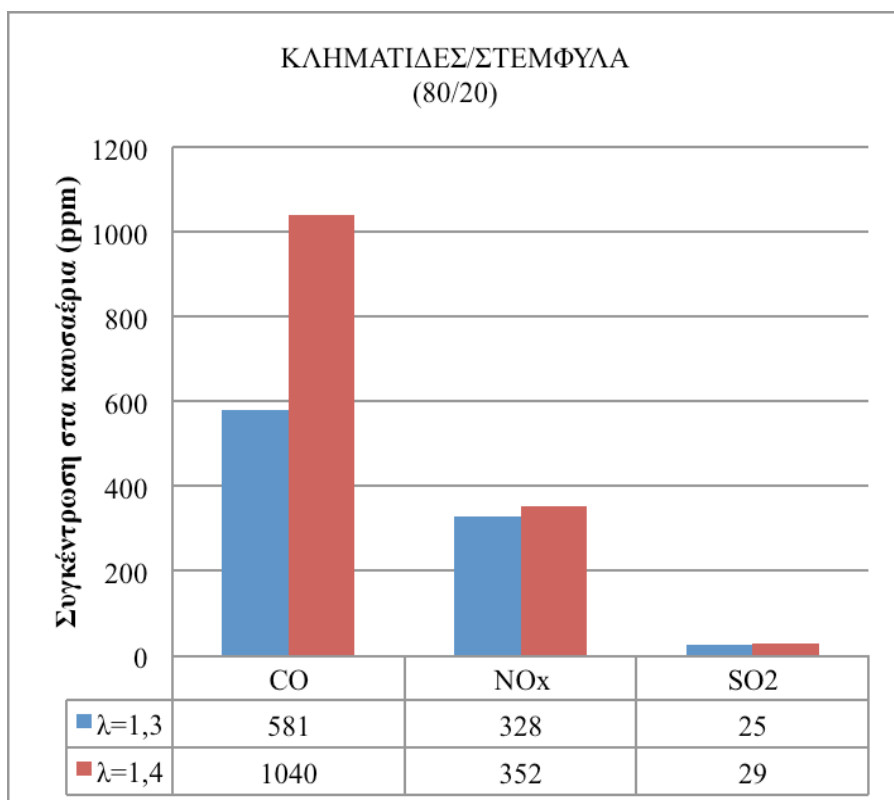
Διάγραμμα 4.3.6: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας αέρα.



Διάγραμμα 4.3.7: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα για τροφοδοσία $F=12\text{g/min}$ συναρτήσει της περίσσειας αέρα

Στα Διαγράμματα 4.3.5 έως 4.3.7 είναι εμφανής η μείωση της θερμοκρασίας της κλίνης συναρτήσει της περίσσειας του αέρα. Οι θερμοκρασίες για τα μίγματα 90/10 και 80/20 είναι παρόμοιες, ενώ το μίγμα 70/30 παρουσιάζει αυξημένες θερμοκρασίες τουλάχιστον για τα ύψη 30 mm έως 150 mm πάνω από την πλάκα κατανομής του αέρα.

Διάγραμμα 4.3.8: Μέσος όρος εκπομπών CO, NO_x και SO₂ για τροφοδοσία καυσίμου F=12g/min συναρτήσει της περίσσειας αέρα



Διάγραμμα 4.3.9: Μέσος όρος εκπομπών CO, NO_x και SO₂ για τροφοδοσία καυσίμου F=12g/min συναρτήσει της περίσσειας αέρα

Διάγραμμα 4.3.10: Μέσος όρος εκπομπών CO, NO_x και SO₂ για τροφοδοσία καυσίμου F=12g/min συναρτήσει της περίσσειας αέρα

Στα Διαγράμματα 4.3.8 έως 4.3.10 παρουσιάζονται οι εκπομπές CO, NO_x και SO₂ για τροφοδοσία 12g/min συναρτήσει της περίσσειας αέρα. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, με την αύξηση των στέμφυλων στα μίγματα και με την περίσσεια αέρα να αυξάνεται, η θερμοκρασία μειώνεται, ενώ οι εκπομπές του CO βαίνουν ανοδικά.

Επίσης, ο σχηματισμός NO_x ευνοήθηκε με την αύξηση της περίσσειας του αέρα στο θάλαμο καύσης και για τα τρία μίγματα. Όσον αφορά τις εκπομπές SO₂ είναι αμελητέες, αφού δεν ήταν σημαντικές οι αλλαγές στις τιμές, με τις διαφορετικές αναλογίες αέρα.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των εκπομπών συναρτήσει της περίσσειας του αέρα παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 4.3.11.

Διάγραμμα 4.3.11: Μέσος όρος εκπομπών CO, NO_x και SO₂ για τροφοδοσία καυσίμου F=12g/min συναρτήσει της περίσσειας αέρα

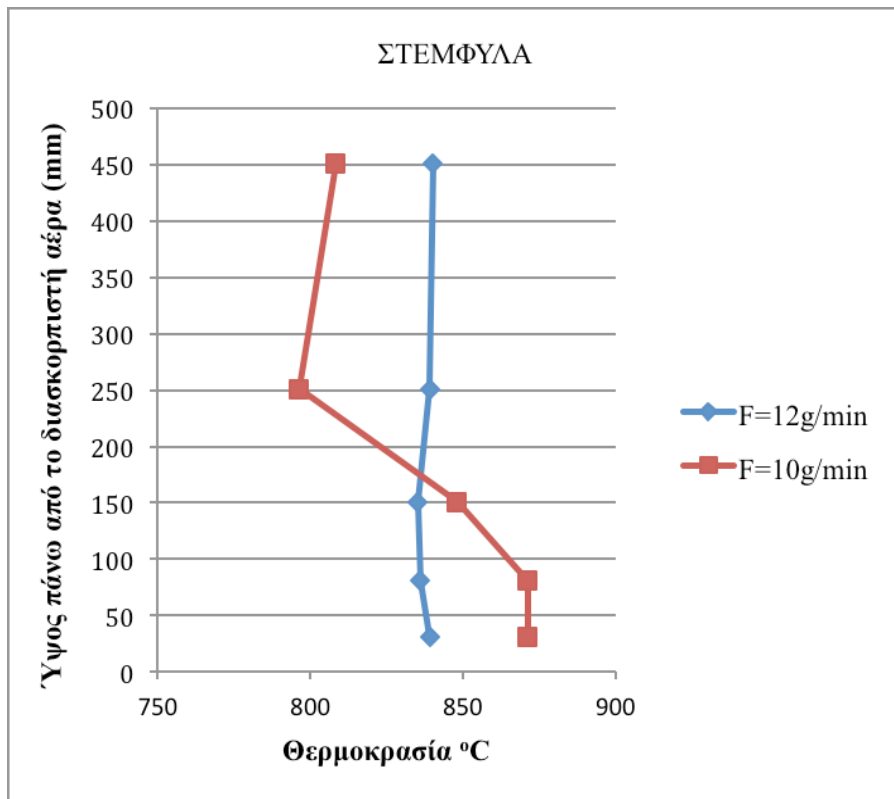
4.4 Επίδραση του ρυθμού τροφοδοσίας του καυσίμου στις χαρακτηριστικές παραμέτρους καύσης

4.4.1 Αρχικά Δείγματα

Πίνακας 4.4.1: Προφίλ θερμοκρασίας, εκπομπές ρύπων, απώλειες θερμότητας και απόδοση από κληματίδες/στέμφυλα σε καυστήρα ρευστοποιημένης κλίνης (FBC) για τροφοδοσία $F=10\text{g/min}$ συναρτήσει της περισσειας του αέρα $\lambda=1,4$

Είδος καυσίμου	Θερμοκρασία (°C)					Εκπομπές NOx (ppm)	Εκπομπές CO (ppm)	Εκπομπές SO ₂ (ppm)	Lco (%)	Απόδοση (%)
	Απόσταση από διασκορπιστή αέρα (mm)									
	30	80	150	250	450					
Στέμφυλα	876	876	856	796	815	423	813	428,1	0,99	99
Κληματίδες	844	843	835	801	780	197,8	406,5	37,8	0,99	99

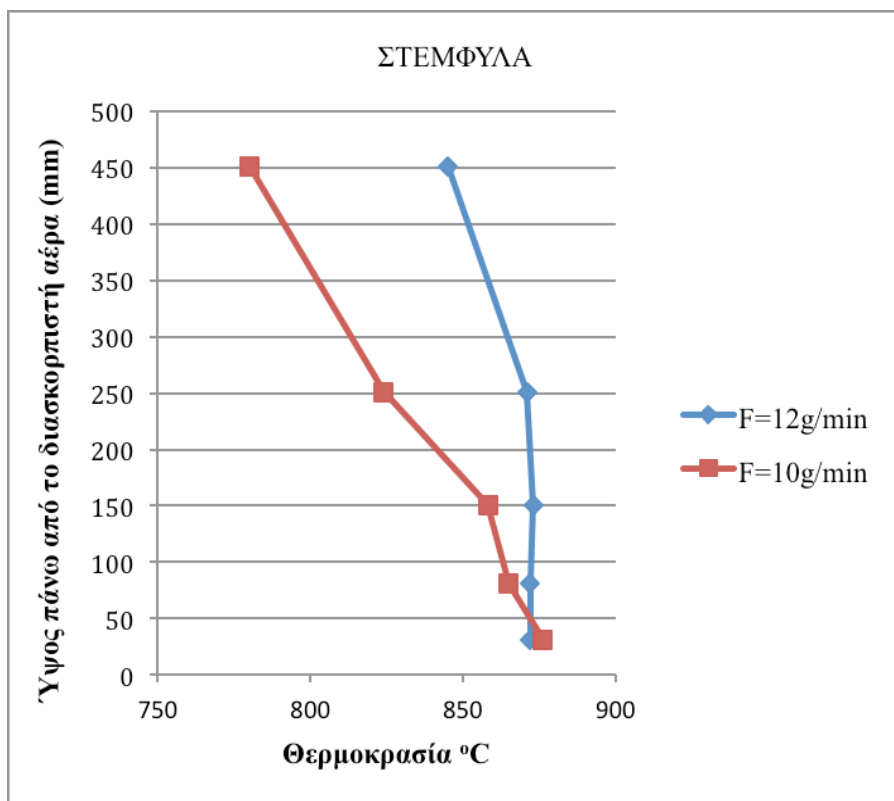
Στον Πίνακα 4.4.1 παρατηρούμε ότι με ταχύτητα τροφοδοσίας 10g/min η καύση για τα στέμφυλα πραγματοποιείται σε διαφορετικές θερμοκρασίες, από τις κληματίδες. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά του Πίνακα 4.2.1 όπου ο ρυθμός τροφοδοσίας ήταν 12g/min παρατηρούμε ότι στα στέμφυλα οι θερμοκρασίες καύσης είναι μεγαλύτερες για ρυθμό τροφοδοσίας 10g/min . Σαν αποτέλεσμα, οι εκπομπές CO είναι μειωμένες. Η μείωση των NO_x με τη μείωση του ρυθμού τροφοδοσίας πιθανόν οφείλεται στην παρουσία πτητικών συστατικών στο ελεύθερο όριο, όπως φαίνεται και από τις υψηλές θερμοκρασίες που επιτεύχθηκαν εκεί. Οι κληματίδες, απ' την άλλη σε τροφοδοσία 10g/min , εμφανίζουν μικρότερες εκπομπές NO_x συγκριτικά με αυτές για τροφοδοσία καυσίμου 12g/min (Πίνακας 4.2.1), λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας καύσης, ενώ οι εκπομπές CO παραμένουν περίπου στα ίδια επίπεδα.



Διάγραμμα 4.4.1: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα συναρτήσει του ρυθμού τροφοδοσίας του καυσίμου με $\lambda=1,4$

Διάγραμμα 4.4.2: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα συναρτήσει του ρυθμού τροφοδοσίας του καυσίμου με $\lambda=1,4$

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.4.1 παρουσιάζονται γραφικά στα Διαγράμματα 4.4.1 έως 4.4.6. Η βέλτιστη τροφοδοσία και για τα δύο καύσιμα φαίνεται να είναι αυτή των 10g/min, όπου η θερμοκρασία στην κλίνη είναι ομοιόμορφη και σε αποδεκτό επίπεδο για ρευστοποιημένη κλίνη, ενώ οι εκπομπές ρύπων είναι μειωμένες.



Διάγραμμα 4.4.3: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα συναρτήσει του ρυθμού τροφοδοσίας του καυσίμου με $\lambda=1,3$

Διάγραμμα 4.4.4: Μέσος όρος εκπομπών CO, NO_x και SO₂ συναρτήσει του ρυθμού τροφοδοσίας του καυσίμου με λ=1,3

Διάγραμμα 4.4.5: Μέσος όρος εκπομπών CO, NO_x και SO₂ συναρτήσει του ρυθμού τροφοδοσίας του καυσίμου με λ=1,4

Διάγραμμα 4.4.6: Μέσος όρος εκπομπών CO, NO_x και SO₂ συναρτήσει του ρυθμού τροφοδοσίας του καυσίμου με λ=1,4

4.4.2 Μίγματα

Πίνακας 4.4.2: Προφίλ θερμοκρασίας, εκπομπές ρύπων, απώλειες θερμότητας και απόδοση από κληματίδες/στέμφυλα σε καυστήρα ρευστοποιημένης κλίνης (FBC) για τροφοδοσία F=10g/min και περίσσεια αέρα λ=1,4

Είδος καυσίμου	Θερμοκρασία (°C)					Εκπομπές NOx (ppm)	Εκπομπές CO (ppm)	Εκπομπές SO2	Lco (%)	Απόδοση (%)
	Απόσταση από διασκορπιστή αέρα (mm)									
30	80	150	250	450						
Κλημ./Στέμφ. (90/10)	868	868	852	782	773	262	1017	24,39	0,99	99
Κλημ./Στέμφ. (70/30)	868	852	831	772	790	294	737	70,25	0,99	99
Κλημ./Στέμφ. (50/50)	866	866	848	792	776	385	749	54,8	0,99	99

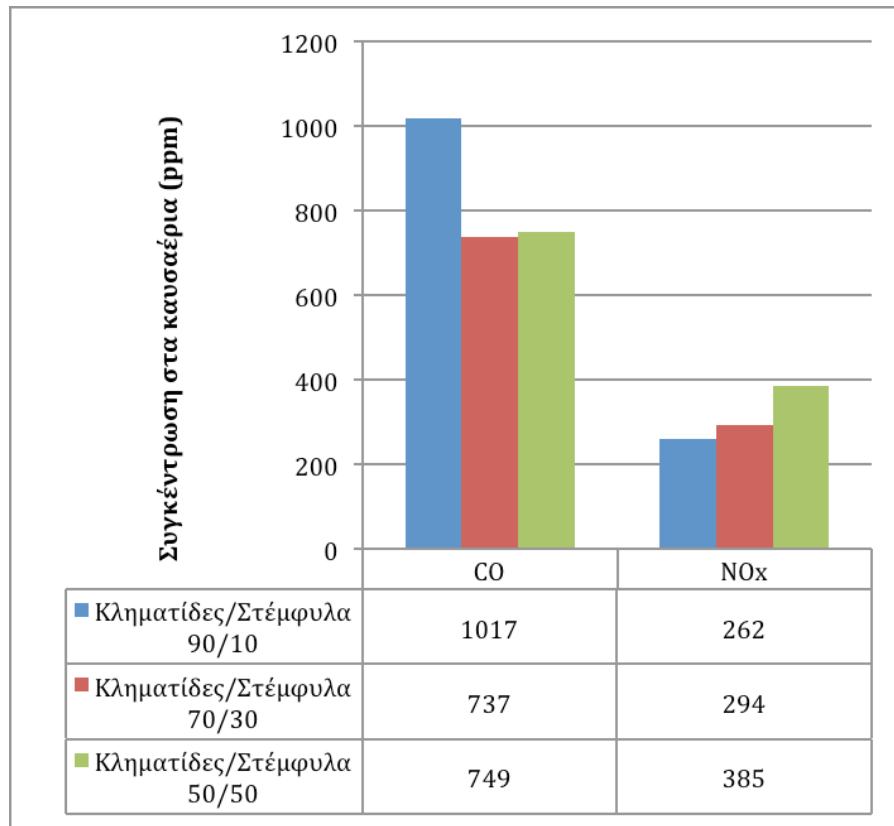
Στον Πίνακα 4.4.2 παρατηρούμε ότι καθώς τα στέμφυλα αυξάνονται κατ'αναλογία στα μίγματα, η θερμοκρασία παραμένει σχεδόν στα ίδια επίπεδα και η τιμή της είναι ανάμεσα στις τιμές που επιτεύχθηκαν από το κάθε καύσιμο χωριστά (Πίνακας 4.4.1). Οι εκπομπές CO διατηρούνται επίσης ανάμεσα στις αντίστοιχες τιμές για τα δύο καύσιμα. Εμφανίζονται ελαφρά αυξημένες στην περίπτωση του μίγματος κλημ./στέμφ. (90/10) λόγω των σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών που επικράτησαν στο ελεύθερο όριο. Οι εκπομπές NO_x ευνοούνται από την αύξηση της ποσοστιαίας συμμετοχής των στέμφυλων και την υψηλή περισσεια του αέρα.

Κληματίδες/Στέμφυλα
90/10, 70/30, 50/50

Διάγραμμα 4.4.7: Προφίλ θερμοκρασιών κατά μήκος του καυστήρα για τροφοδοσία $F=10\text{g/min}$ και λόγο περισσειας $\lambda=1,4$

Στο Διάγραμμα 4.4.7 παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του καυστήρα για τροφοδοσία καυσίμου $F=10\text{gr/min}$ και λόγο περισσειας $\lambda=1,4$. Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από την πλάκα κατανομής του αέρα. Στο παραπάνω διάγραμμα, παρατηρείται ότι οι τιμές της θερμοκρασίας και για τα τρία μίγματα είναι πολύ κοντά.

Εκπομπές τύπων



Διάγραμμα 4.4.8: Μέσος όρος εκπομπών CO και NO_x για τροφοδοσία καυσίμου
F=10g/min και λόγο περίσσειας
λ=1,4

Στο Διάγραμμα 4.4.8 παρουσιάζεται ο μέσος όρος εκπομπών CO και NO_x από την καύση μιγμάτων στη ρευστοποιημένη κλίνη για τροφοδοσία καυσίμου F=10g/min και λόγο περίσσειας αέρα λ=1,4. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι εκπομπές CO οφείλονται στις αλλαγές της θερμοκρασίας καύσης. Παρόλ'αυτά, οι εκπομπές CO παραμένουν μέσα στα επιτρεπτά όρια. Απ' την άλλη, οι εκπομπές NO_x είναι μεγαλύτερες με αύξηση του ποσοστού των στέμφυλων στο μίγμα, αφού τα στέμφυλα έχουν μεγαλύτερη τιμή σε άζωτο από εκείνη των κληματίδων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων των πειραμάτων καύσης συμπεραίνουμε τα εξής:

- Για βέλτιστη τροφοδοσία καυσίμου, οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες καύσης επιτεύχθηκαν στα πειράματα όπου χρησιμοποιήθηκαν τα στέμφυλα ως καύσιμο υλικό, λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας τους σε μόνιμο άνθρακα. Στα περισσότερα πειράματα καύσης στέμφυλων, η μέγιστη θερμοκρασία επιτεύχθηκε εντός της κλίνης περίπου 8cm πάνω από την πλάκα κατανομής του αέρα. Όσον αφορά στις κληματίδες και στα μίγματα κληματίδων/στέμφυλων, οι μέγιστες θερμοκρασίες επιτεύχθηκαν στα πρώτα εκατοστά πάνω από το διασκορπιστή του αέρα. Οι θερμοκρασίες στο ελεύθερο όριο (>15cm) ήταν υψηλές, λόγω της καύσης των πτητικών συστατικών των δειγμάτων.
- Οι εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO_2) ήταν πολύ μικρές για όλα τα πειράματα καύσης, το οποίο οφείλεται στην αμελητέα περιεκτικότητα σε θείο (S) στα υπό εξέταση καύσιμα βιομάζας.
- Η σχετικά μικρή περιεκτικότητα σε άζωτο στις κληματίδες, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν αναπτύχθηκαν θερμοκρασίες καύσης μεγαλύτερες των 860°C , είχε ως αποτέλεσμα μειωμένες εκπομπές NO_x στο περιβάλλον. Αντίθετα, κατά την καύση των στέμφυλων παρατηρήθηκαν αυξημένες εκπομπές NO_x στα απαέρια, που υπερβαίνουν τα επιτρεπτά από την ΕΕ όρια.
- Η αύξηση της περίσσειας αέρα προκάλεσε την πτώση της θερμοκρασίας λειτουργίας της κλίνης σε όλα τα τμήματα του καυστήρα, ενώ οι εκπομπές ρύπων αυξήθηκαν ελάχιστα.
- Η μείωση της τροφοδοσίας του καυσίμου είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας της κλίνης στην περίπτωση των στέμφυλων, ενώ τη μείωση της θερμοκρασίας της κλίνης στην περίπτωση των κληματίδων. Επίσης, επηρέασε σε σημαντικό βαθμό τις εκπεμπόμενες ποσότητες CO, ενώ δεν επηρέασε σημαντικά τις εκπομπές NO_x . Μια μείωση της τροφοδοσίας από 0,72 σε 0,84 kg/h για τα στέμφυλα μείωσε τις εκπομπές ρύπων στα απαέρια έως και 200ppm .
- Κατά τη συν-καύση στέμφυλων και κληματίδων, οι τιμές της θερμοκρασίας ήταν ανάμεσα στις τιμές που επιτεύχθηκαν από το κάθε καύσιμο χωριστά. Γενικά, οι εκπομπές CO και NO_x διατηρήθηκαν ανάμεσα στις αντίστοιχες τιμές για τα δύο καύσιμα. Οι αποκλίσεις οφείλονταν σε θερμοκρασιακές μεταβολές μέσα στην κλίνη και στο ποσοστό των πτητικών συστατικών στο ελεύθερο όριο.
- Στην περίπτωση των μιγμάτων, η αύξηση της περίσσειας αέρα είχε σαν αποτέλεσμα μια μικρή αύξηση στις εκπομπές NO_x και CO. Επίσης, με μείωση της τροφοδοσίας από 0,72 σε 0,84 kg/h οι εκπομπές NO_x μειώθηκαν, ενώ οι εκπομπές CO στα απαέρια παρέμειναν σχεδόν στα ίδια επίπεδα.
- Κατά την καύση των κληματίδων οι εκπομπές ρύπων είναι γενικά χαμηλές, ενώ κατά την καύση των στέμφυλων αυξημένες. Για μίγματα των δύο καυσίμων όπου το ποσοστό των στέμφυλων είναι μέχρι 30% και ο ρυθμός τροφοδοσίας μικρότερος από 0,72 kg/h, οι εκπομπές ρύπων διατηρούνται στα επιτρεπτά όρια.
- Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας δείχνουν ότι τα στέμφυλα δεν είναι ικανά από μόνα τους να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς ως εναλλακτικά καύσιμα

για την παραγωγή θερμότητας, σε αντίθεση με τις κληματίδες. Μίγματα των δύο καυσίμων παρουσιάζουν ενδιαφέρον καθώς οι κληματίδες εμφανίζουν υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά συστατικά και αρκετά υψηλή θερμαντική ικανότητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]: Κοτρωνάκης Μανώλης, Μεταπτυχιακή διατριβή: «Αξιοποίηση υπολειμμάτων εσπεριδοειδών για παραγωγή ενέργειας», Πολυτεχνείο Κρήτης 2012
- [2]: Σαράντος Ι.Καργάκος: «Το ενεργειακό πρόβλημα και η εξάντληση των φυσικών πηγών πλούτου, πηγή: Μαθήματα Εκθέσεων
<http://www.sarantokargakos.gr/content/το-ενεργειακό-πρόβλημα-και-η-εξάντληση-των-φυσικών-πηγών-πλούτου>
- [3]: Τζιάσου Ευαγγελία Τ, Διπλωματική εργασία: «Διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα και προώθηση εξοικονόμησης ενέργειας», ΕΜΠ 2012, σελ 15
- [4]: RETD - Renewable Energy - Technology & Development,
<http://www.retd.gr/index.php?cat=1&language=gr>
- [5]: Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής
<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=288%20ΥΠΕΚΑ-Βιομάζα>
- [6]: Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου
<http://www.eac.com.cy/GR/Pages/renewableenergy.aspx>
- [7]: Βάμβουκα Δ., Βιομάζα, Βιοενέργεια & περιβάλλον , Θεσ/κη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2009 σελ 341
- [8]: Καθ. Μ. Φούντη, Δ. Γιαννόπουλος Μηχ. Μηχ. MSc, «Θεωρία καύσης & Συστήματα καύσης», ΕΜΠ (Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών)
http://courseware.mech.ntua.gr/ml22058/pdfs/M15a-Biomass_Introduction.pdf
- [9]: Κοτρωνάκης Μανώλης, Μεταπτυχιακή διατριβή: «Αξιοποίηση υπολειμμάτων εσπεριδοειδών για παραγωγή ενέργειας», Πολυτεχνείο Κρήτης 2012 και ΚΑΠΕ, Ετήσια Έκθεση 2009
- [10]: Agroenergy
<http://www.agroenergy.gr/categories/βιομάζα> και
Biomass Energy
<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biomass/16-biomass-resources>
- [11]: Αντώνης Παλαιολόγος -Γεωπόνος, « Νέες ιδέες & Προτάσεις για την Αγροτική Οικονομία του Τόπου μας», Ημερίδα Χαλκίδα, 2012
[http://www.naevias.gr/files8/ΑΓΡΟ-ΕΝΕΡΓΕΙΑ\(ΠΑΛΑΙΟΛΟΓΟΣ\).pdf](http://www.naevias.gr/files8/ΑΓΡΟ-ΕΝΕΡΓΕΙΑ(ΠΑΛΑΙΟΛΟΓΟΣ).pdf)
- [12]: Τζινευράκης Μ., Τζαβάρα Ι., Τσούτσος Θ., Βάμβουκα Δ., Ξιφαράς Κ., «Δυναμικό Βιομάζας για Ενεργειακή Αξιοποίηση στην Κρήτη», Θεσ/κη, 2006., σελ 3
- [13]: Χρήστος Χ. Χασαπόπουλος, Διπλωματική εργασία: « Πειραματική Διερεύνηση Μηχανισμού Αποθείωσης σε Πειραματική Εγκατάσταση Καύσης Τεχνολογίας Ρευστοποιημένης Κλίνης», ΕΜΠ 2007
http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/540/1/chasapopoulosc_desulfurization.pdf
- [14]: Τζινευράκης Μ., Τζαβάρα Ι., Τσούτσος Θ., Βάμβουκα Δ., Ξιφαράς Κ., «Δυναμικό Βιομάζας για Ενεργειακή Αξιοποίηση στην Κρήτη», Θεσ/κη, 2006.
- [15]: Μιχαλοπούλου Χ, “Νομοθεσία για το Περιβάλλον”, εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2004.
- [16]: ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε. «Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής & Ασφάλειας της Εργασίας», «Οδηγός Νομοθεσίας για την Προστασία του Περιβάλλοντος»

http://www.elinyae.gr/el/item_details.jsp?cat_id=33&item_id=1731

[17]: Steenari, B.M., Lindqvist, O., (1997), “Stabilisation of biofuel ashes for recycling to forest soil”, Biomass and Bienergy, Volume 13, Issue 1-2, p. 39-50.

[18]: Lopez, M.C.B., Martinez – Alonso, A., Tascon, J.M.D, (2000), “Mineral matter characterization of olive stones by joint use of LTA, XRD, FTIR and SEM-EDX”, Applied Spectroscopy, Volume 54, Issue 11, p. 1712-1715.

[19] Τρικουβέρτης Μάριος-Γεώργιος, Διπλωματική διατριβή: « Χαρακτηρισμός τεφρών από καύση υπολειμμάτων εσπεριδοειδών σε ρευστοποιημένη κλίνη», Πολυτεχνείο Κρήτης Φεβρουάριος, 2013